F 1162

# STUDII ȘI CERCETĂRI DE METALURGIE

TOMUL 12, Nr. 1, 1967

EDITURA ACADEMIEI REPUBLICII SOCIALISTE ROMÂNIA

C 2
42

COMITETUL DE REDACȚIE

Acad. ȘT. NĂDĂȘAN — *redactor responsabil;* prof. I. HUBER PANU, membru corespondent al Academiei R.S.R. — *redactor responsabil adjunct,* conf. L. BOLEANȚU, Timișoara, prof. AL. DOMȘA, Cluj, ing. A. IEREMIA, Reșița, prof. ȘT. MANTEA, București, prof. VL. POPOVICI, Timișoara, ing. D. PAVELESCU, București, ing. C. PANDELESCU, București, ing. M. RAȚIU, Timișoara, conf. TR. SĂLĂGEAN, Timișoara, ing. I. TRIPȘA, București, ing V. SAFTA — *secretar științific,* Timișoara.

În țară, abonamentele se primesc la oficiile poștale, agențiile poștale, factorii poștali și difuzorii de presă din întreprinderi și instituții.

Comenzile de abonamente din străinătate se primesc la CARTIMEX, București, Căsuța postală 134—135 sau la reprezentanții săi din străinătate.

Manuscrisele, cărțile și revistele pentru schimb, precum și orice altă corespondență se trimit la Comitetul de redacție pe adresa: B-dul Mihai Viteazul 24 Timișoara.

STUDII ȘI CERCETĂRI DE METALURGIE
apare de două ori pe an

ORSZÁGOS MŰSZAKI KÖNYVTÁR ÉS DOKUMENTÁCIÓS KÖZPONT 1683

# STUDII ŞI CERCETĂRI DE METALURGIE

TOMUL 12, Nr. 1, 1967

EDITURA ACADEMIEI REPUBLICII SOCIALISTE ROMÂNIA

ORSZÁGOS MŰSZAKI KÖNYVTÁR DOKUMENTÁCIÓS OSZTÁLY 1983

# SUMAR

## CENTENARUL ACADEMIEI

Cercetarea științifică în domeniul preparării substanțelor minerale în țara noastră .. 5
Cercetările metalurgice în România .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. 25
Preocupări în cercetarea de metalurgie fizică în țara noastră .. .. .. .. .. .. 49
Aspecte ale cercetării în domeniul încercărilor de metale la noi în țară .. .. .. .. 63

## PREPARAREA MINEREURILOR

I. HUBER PANU, Noi relații matematice privitoare la flotația în flux continuu .. .. 95

## METALURGIE FIZICĂ

N. DRĂGAN, M. L. BERNSTEIN, Asupra corelației dintre proprietățile mecanice, structură și substructură a țevilor în urma tratamentului termomecanic .. .. 105
IRINA ZBEREA, Posibilitățile de utilizare a microscopiei interferențiale în studii de structuri .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. 115

## INCERCĂRI DE MATERIALE METALICE

FR. EISENKOLB și M. RIEHLE. Comparație între proprietățile de rezistență ale oțelurilor de îmbunătățire după un tratament normal și în trepte .. .. .. 123
A. DOMȘA, L. BOTHA, Contribuții la metodica încercărilor de rezistență a pieselor poroase inelare sinterizate .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. 137
L. BOLEANȚU, M. FISCHER, T. BABEU, Unele particularități ale încercărilor de rezistență pe modele din elemente cu dimensiuni mici .. .. .. .. .. 145
V. SAFTA, A. BERNATH, Un nou criteriu de determinare a comportării tenaco-fragile a metalelor .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. 165
B. HOROVITZ, M. CRUDU, D. PERJU, M. BALEKICS, Aplicarea metodei sarcinii progresive la stabilirea durabilității și a rezistenței la oboseală .. .. .. 179

## PROBLEME METALURGICE ALE SUDĂRII

ȘT. NĂDĂȘAN, T. SĂLĂGEAN, CLARA BOARNĂ, V. SAFTA, Influența concentrației sursei termice asupra unor însușiri fizico-mecanice ale sudurilor realizate electric prin topire intermediară .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. 187
T. SĂLĂGEAN, CLARA BOARNĂ, S. MOGA, Cîteva probleme ale sudării prin topire intermediară a șinelor de cale ferată cu găuri de eclisare .. .. .. .. .. 205

## SINTEZE

M. GR. NĂSTASE, Studiul actual al cercetărilor în domeniul încercărilor nedistructive. Partea I. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. .. 215

## RECENZII

ORSZÁGOS MŰSZAKI KÖNYVTÁR ÉS DOKUMENTÁCIÓS CENTRUM 1963



# CERCETAREA ŞTIINŢIFICĂ ÎN DOMENIUL PREPARĂRII SUBSTANŢELOR MINERALE ÎN ŢARA NOASTRĂ

După primul război mondial, necesităţile economice ale României întregite au determinat o creştere a industriei ţării şi, în concordanţă cu aceasta, o mare dezvoltare a mineritului.

În domeniul preparării substanţelor minerale utile, progresele se manifestă mai ales începînd din 1928, cînd are loc o modernizare a majorităţii instalaţiilor de preparare din ţară. Această modernizare este determinată îndeosebi de apariţia flotaţiei, care a revoluţionat profund mineritul metalifer.

În perioada 1928—1933, aproape toate instalaţiile de preparare a minereurilor neferoase şi aurifere din România sînt înlocuite cu instalaţii de flotaţie sau cu instalaţii care folosesc şi flotaţia pe lîngă alte procedee. Concomitent, prin crearea în străinătate de noi tipuri de utilaje în domeniile sfărîmării, măcinării, clasării etc., se produce şi o modernizare a secţiilor respective din uzinele de preparare din ţara noastră.

În aceeaşi perioadă are loc şi înlocuirea vechilor spălătorii de cărbune din Valea Jiului cu două instalaţii moderne şi de mare capacitate pentru vremea aceea, bazate pe utilizarea reospălătoarelor. De asemenea, la Petrila sînt construite o fabrică de brichetare şi o instalaţie de semicocsificare a cărbunilor.

Deşi majoritatea acestor modernizări s-au făcut cu ajutorul unor firme străine, care au livrat o mare parte a utilajelor, o contribuţie substanţială la realizarea lor au adus-o inginerii şi specialiştii români. În această activitate se reflectă condiţiile care s-au creat în domeniul tehnicii miniere curînd după primul război mondial.

Astfel, necesitatea pregătirii în ţară a specialiştilor în diferitele ramuri ale tehnicii, inclusiv în domeniul minier, duce în 1920 la transformarea Şcolii naţionale de poduri şi şosele din Bucureşti în Şcoala politehnică şi la crearea unei Şcoli politehnice la Timişoara. La aceste politehnici se înfiinţează secţii, care devin apoi facultăţi, pentru pregătirea inginerilor de mine.

Sînt constituite mai multe asociaţii tehnice-ştiinţifice, ca „Asociaţia inginerilor şi tehnicienilor din industria minieră", „Asociaţia generală a inginerilor din România" etc.

În afară de „Buletinul Societăţii politehnice", care a început să apară încă din 1885, specialiştii şi inginerii mineri din aceea vreme au posibilitatea

să-şi publice lucrările tehnice-ştiinţifice în reviste ca „Analele minelor din România", revistă înfiinţată în 1918 ca organ al Asociaţiei inginerilor şi tehnicienilor din industria minieră, „Miniera", care îşi începe apariţia în 1930, „Buletinul AGIR", precum şi în buletinele ştiinţifice ale şcolilor politehnice.

Activitatea de cercetare în domeniul preparării substanţelor minerale utile, fiind strîns condiţionată de existenţa unor laboratoare speciale pentru acest scop, nu s-a putut dezvolta decît după înfiinţarea şi organizarea primelor laboratoare de acest gen în ţara noastră la Politehnica din Bucureşti, la Politehnica din Timişoara, precum şi în cadrul Societăţilor „Mica"-Brad şi „Petroşani".

Cea mai mare parte a activităţii de cercetare din domeniul preparării în acea perioadă a avut un caracter aplicativ, urmărind determinarea posibilităţilor de preparare, prin metode moderne, a diferitelor minereuri din ţara noastră. Această activitate a fost executată de către puţine cadre didactice din învăţămîntul superior şi de ingineri şi specialişti care activau la întreprinderile mai mari ale unor societăţi particulare, ca „Mica", „Petroşani" etc.

Concomitent se efectuează însă şi un număr restrîns de cercetări cu caracter teoretic fundamental. În anul 1930, adică în perioada în care se puneau bazele teoriei flotaţiei, I. Huber Panu stabileşte [1], pe baze termodinamice, relaţia care exprimă condiţia necesară producerii adeziunii mineralelor la bulele de aer în funcţie de unghiul de contact al mineralelor. Pe baza acestei relaţii, autorul explică unele aspecte ale procesului flotaţiei şi arată că relaţia permite, printre altele, ca prin măsuri de unghiuri de contact să se calculeze energia de adeziune pe unitatea de suprafaţă între particulele minerale şi bulele de aer şi să se deducă flotabilitatea mineralelor şi eficacitatea colectorilor la flotaţia diferitelor minerale. Într-o lucrare ulterioară [2] se arată şi alte utilizări ale relaţiei stabilite.

În aceeaşi perioadă, acelaşi autor a cercetat [1], [3] influenţa temperaturii asupra flotaţiei, stabilind, printre altele, că există o temperatură optimă de flotaţie pentru diferite minerale, cuprinsă de obicei între 23—40 °C. Flotînd la temperatura optimă, timpul necesar flotaţiei se reduce la jumătate în cazul blendei şi al unor minerale de cupru. Temperaturi mai înalte de 50° sînt dezavantajoase, datorită accelerării proceselor de oxidare superficială, mai ales în cazul sulfurilor. Aceste rezultate, uneori împreună cu fundamentarea teoretică dată de autor, sînt reproduse în multe tratate de specialitate [4], [5]. Ele au fost folosite în practică atît în ţară cît şi în străinătate, încălzindu-se în mai multe cazuri tulbureala supusă flotaţiei.

În mai multe tratate din străinătate [6], [7] sînt reproduse ecuaţiile curbelor de preparare obţinute de I. Huber Panu [8], exprimînd matematic principiile pe baza cărora se produce concentratul în procesele de concentrare. Aceste ecuaţii, care exprimă variaţiile extracţiei de substanţă utilă, a conţinutului concentratului şi a conţinuturilor produselor elementare separate de maşină în funcţie de greutatea concentratului obţinut, sînt de mare utilitate

pentru controlul și proiectarea proceselor de concentrare, unele dintre utilizările lor fiind puse în evidență în mai multe lucrări apărute în țară și în străinătate [9]—[12].

În cadrul unor cercetări efectuate în domeniul măcinării, E. Bădescu [13] propune pe baze științifice unele criterii pentru aprecierea rezultatelor sfărîmării obținute în mașinile de sfărîmare, iar pe baza cercetărilor de măcinare executate cu tipuri diferite de mori și în condiții diferite ajunge la concluzii favorabile morilor cu bile în comparație cu cele cu bare și morilor cilindrice în comparație cu cele tronconice. În aceeași lucrare se aduce și o contribuție privitoare la metodica cercetărilor de flotație de laborator.

În domeniul proceselor de clasare și concentrare gravitațională, I. Huber Panu a elaborat în 1940 [14] o teorie unitară și generală a acestor procese, ceea ce a permis să se pună în evidență caracterele comune ale unora dintre aceste procese și totodată să se deducă bazele teoretice ale fiecărui proces sub forma unui caz particular al teoriei elaborate.

În domeniul cianurării continue a minereurilor aurifere, lucrările publicate de R. Bădescu și Gh. Vanci [15], [16] pun în evidență influența numărului și volumului tancurilor în serie asupra extracției de aur, ajungînd la concluzia că, cu cît volumul total al tancurilor este fracționat într-un număr mai mare de tancuri cu volum mic, cu atît cantitatea de minereu insuficient dizolvată e mai mică. Totodată se stabilește o ecuație din care se poate deduce debitul limită de alimentare al tancurilor, adică debitul a cărui depășire conduce la o mărire a pierderilor de aur.

Dintre lucrările cu caracter aplicativ publicate, menționăm studiile efectuate de I. Marinescu [17] și Gh. Vanci [18] cu privire la cianurarea unora dintre minereurile aurifere din țara noastră, ele conducînd la concluzii importante din punct de vedere practic.

De asemenea, cercetările lui I. Mărinescu [19] privitoare la prepararea pe cale uscată a unor cărbuni bruni nisipoși au arătat posibilitatea tratării pe această cale a claselor mărunte, aducînd și unele contribuții la teoria procesului.

Adînca schimbare structurală produsă în țara noastră după actul de la 23 August 1944 se reflectă profund în domeniul cercetărilor și în cel al pregătirii și formării cadrelor de specialiști.

Astfel, prin reforma învățămîntului din 1948, în institutele tehnice superioare care se organizează se acordă o dezvoltare deosebită învățămîntului minier, ajungîndu-se, în ceea ce privește prepararea substanțelor minerale utile, la înființarea în anul 1952 a unei secții speciale pentru pregătirea inginerilor în această specialitate, la Institutul de mine din București.

După actul naționalizării din 1948, activitatea de cercetare în domeniile tehnicii miniere și al preparării substanțelor minerale utile a căpătat un caracter organizat. Astfel, prima formație organizată de cercetări de preparare a fost creată în anul 1949 în cadrul Institutului tehnologic de mine și petrol, care, de atunci și pînă azi, s-a dezvoltat mult, trecînd prin diverse

forme organizatorice în cadrul unor institute departamentale, ca Institutul de cercetări și proiectări miniere. Institutul de cercetări carbonifere, Institutul de cercetări metalurgice etc., iar în prezent Institutul central de cercetări miniere. În intervalul 1949—53 aceste institute, neavînd încă local și mijloace proprii de cercetare, au executat toate cercetările de preparare în laboratorul de preparare al Institutului politehnic din București, sub conducerea Prof. I. Huber Panu, care crease cu mulți ani înainte acest laborator.

În paralel s-au organizat și dezvoltat cercetări de preparare și în cadrul altor instituții, ca Centrul de cercetări metalurgice al Academiei, Institutul geologic al Comitetului de Stat al Geologiei. De asemenea, pe lîngă unitățile productive mai importante (Baia Mare, Petroșani, Deva, Cluj) au fost create sectoare de cercetări de preparare, care, în ultimii ani, ca urmare a hotărîrilor de partid și de stat, au fost mult dezvoltate sau sînt în curs de dezvoltare.

În decursul activității de cercetare organizată în domeniul preparării, în țara noastră s-au realizat progrese mari. S-au format cadre de cercetători specializați, a căror activitate s-a remarcat prin numeroasele lucrări executate, prin calitatea acestora, precum și prin aplicațiile lor; s-a mărit mult dotația cu aparatură și utilaje de cercetare, din care o mare parte a fost construită în țară.

Inginerii și cercetătorii în domeniul preparării substanțelor minerale au posibilitatea să-și publice lucrările tehnice-științifice și de cercetare fundamentală în „Revista minelor", organ al Ministerului Minelor și al Consiliului național al inginerilor și tehnicienilor, în revistele Academiei, în publicațiile institutelor de cercetări, precum și în buletinele științifice ale institutelor de învățămînt superior.

Cercetările efectuate cu deosebire în primii ani ai acestei activități organizate, s-au axat în cea mai mare parte pe probleme cu caracter aplicativ, a căror prioritate a fost impusă de cerințele industriei miniere, aflată în plin proces de dezvoltare.

Datorită volumului mare de cercetări aplicative reclamate de dezvoltarea producției și a importanței imediate pe care o prezentau aceste cercetări, cercetările fundamentale au fost cu mult mai reduse ca volum în comparație cu cele aplicative, ele fiind executate în cea mai mare parte în cadrul Academiei sau la catedrele de învățămînt superior, iar în ultimii ani și în cadrul Institutului geologic.

Volumul cel mai mare de cercetări efectuate l-au reprezentat cele privind valorificarea de zăcăminte noi de substanțe minerale utile; aceste cercetări au dat soluțiile tehnologice pentru prepararea minereurilor din aceste zăcăminte și au stat la baza proiectării instalațiilor de preparare respective, dintre care multe au intrat în funcțiune, iar altele sînt în curs de realizare. Vom menționa dintre acestea numai unele din cercetările publicate care au stat la baza proiectării și construirii instalațiilor de preparare a minereurilor neferoase de la Baia Borșa, Burloaia, Baia de Arieș, Deva, Bocșa, Muncelul Mic, Moldova Nouă, Tarnița, Dobrești etc. [20]—[38].

În domeniul minereurilor de fier și de mangan, cercetările de preparare efectuate au îmbrățișat numeroase probleme, pînă în prezent studiindu-se posibilitățile de valorificare a majorității zăcămintelor cunoscute de minereuri de fier și de mangan din țara noastră [39]—[47]. Vom menționa dintre acestea cercetările privind minereul de fier din zona Teliuc-Ghelar [48], [49]. Ele au dus la stabilirea tehnologiei de preparare a acestui minereu, care constă din prăjirea magnetizantă, realizată în atmosferă slab oxidantă, urmată de separarea magnetică umedă în cîmpuri slabe. Aceste cercetări au fost finalizate prin construcția unei uzine cu o capacitate de 1,8—2 milioane de tone anual.

Cercetările asupra minereului din zona Lueta [50], [51] au inclus o gamă largă de procedee de valorificare, dintre care în final a fost aleasă tehnologia de preparare prin flotație, folosind reactivi produși în țară. Aceste cercetări, continuate în faza semiindustrială, stau la baza proiectului în curs de definitivare, al instalației de flotație de la Lueta.

Menționăm de asemenea cercetările asupra minereului din zona Căpuș-Șatra [52], [53], care au dus în final la construcția unei uzine de preparare cu o capacitate de un milion de tone anual.

În domeniul substanțelor minerale nemetalifere, cercetările de preparare efectuate de C. Grigorescu, D. Butucescu, A. Stoian ș. a. au contribuit la dezvoltarea acestui sector, ele stînd la baza construirii unor instalații de preparare ca cele de la Vadul Crișului, Aghireș, Somova, Basarabi, Văleni etc. [54]—[56].

În domeniul cărbunilor, pe baza cercetărilor de preparare efectuate s-au proiectat și s-au construit uzina de la Coroești, o nouă instalație la Anina, precum și o serie de instalații legate de valorificarea optimă a lignitilor, ca instalația industrială de uscare în strat fluidizat, instalația de brichetare a lignitilor de la Baraolt etc. [57]—[64].

O altă categorie de cercetări o formează acelea efectuate atît în laboratoare, cît și direct în uzine, care au dus la îmbunătățirea tehnologiilor și mărirea capacităților uzinelor de preparare în funcțiune, cum ar fi cele care privesc instalațiile de la Săsar, Baia Sprie, Cavnic, Brad, Băița-Crăciunești, Zlatna, Lupeni, Petrila, Cozla etc. [65]—[72].

În afara acestor cercetări cu caracter aplicativ imediat, au fost executate, cu deosebire în ultimii ani, numeroase cercetări care urmăreau îndeosebi introducerea de metode, utilaje și reactivi noi în tehnica preparării. Dintre acestea menționăm:

— Cercetările efectuate de Gh. Vanci, C. Pandelescu, E. Popa ș. a. privind preconcentrarea în medii dense a minereurilor neferoase, în cadrul cărora a fost studiată majoritatea minereurilor neferoase din țara noastră, stabilindu-se posibilitatea aplicării acestei tehnologii, în condiții avantajoase, la un număr de circa 6 minereuri [73]—[77];

— Cercetările efectuate de M. Cristovici, Lucia Iliescu ș. a. asupra tuturor minereurilor complexe din țara noastră aflate în exploatare, privind posibilitatea aplicării flotației colective galenă-blendă în vederea obținerii de

concentrate colective apte pentru a fi prelucrate metalurgic prin procedeul I.S.P. Aceste cercetări au dus la clasificarea minereurilor studiate după modul și condițiile în care se poate aplica tehnologia respectivă [78], [79];

— Cercetările privind tehnologia flotației colective de blendă-pirită, urmată de separarea diferențială a concentratului colectiv, efectuate de D. Gligor, E. Popa, Lucia Maghiar ș. a., asupra mai multor minereuri complexe din țara noastră, care au dus la aplicarea industrială a acestei tehnologii la mai multe instalații de flotație pentru minereuri complexe, cum sînt cea de la Bocșa, linia Nistru de la flotația centrală Baia Mare etc., obținîndu-se rezultate superioare față de tehnologia flotației diferențiale directe [72], [80], [81];

— Cercetările privind flotația carbonaților de Pb, Cu, Zn de la Somova, efectuate de P. Rosinger, S. Dima și Lucia Iliescu [82], [83], care au dus la obținerea de rezultate favorabile prin aplicarea flotației diferențiale în condiții speciale. Astfel, la flotarea mineralelor de Pb și Cu cu xantat amil de potasiu s-a utilizat metoda sulfurării în două-trei trepte, condiționarea cu sulfurant făcîndu-se în prezența aerului; flotarea mineralelor de zinc s-a făcut cu acetat de alchilamină după o puternică sulfurare;

— Cercetările care au arătat posibilitatea recuperării prin flotație a peste 75% din cuprul și aurul ce se găsesc în clincherele cuptoarelor Wälz; ele reprezintă o rezolvare originală a acestei probleme, neabordată pînă în prezent [72];

— Pe linia cercetărilor efectuate îndeosebi în ultimii ani în legătură cu valorificarea complexă a minereurilor din țara noastră, se situează cercetările lui S. Dima și Lucia Iliescu, care au dus la stabilirea posibilităților de recuperare a molibdenului ca produs secundar din concentratele cuproase de la Deva și Moldova Nouă [84];

— Cercetări de preparare a micașisturilor cu conținut de disten, efectuate de A. Stoian, Ludmila Rohr ș. a. [85], [86], care au arătat că prin aplicarea unui flux tehnologic complex (sfărîmare selectivă, clasare volumetrică fină, măcinare grobă în mori cu bare, concentrare gravitațională, separare magnetică umedă în cîmp puternic, măcinare-flotație) se pot obține, pornind de la un minereu cu 6—7% disten, concentrate cu 84—86% disten;

— Cercetări privind înnobilarea nisipurilor cuarțoase pentru industria sticlei aplicînd metoda abraziunii în scopul îndepărtării oxizilor de fier sub formă peliculară [87], în cadrul cărora M. Badea a cercetat influența diferiților factori fizico-chimici și îndeosebi a adaosurilor de electroliți asupra procesului de abraziune. S-a arătat că eficacitatea abraziunii este în strînsă legătură cu mărimea potențialului electrocinetic, care caracterizează gradul de hidratare a suprafețelor minerale și care variază în funcție de concentrația, valența și raza ionică a cationilor diferiților electroliți anorganici utilizați;

— Cercetări privind diferite aspecte ale sfărîmării și măcinării minereurilor neferoase [88], în cadrul cărora E. Popa și colaboratorii au studiat:

a) comportarea la sfărîmarea în mori cu impact a majorității minereurilor neferoase din țara noastră, stabilindu-se posibilitatea aplicării acestei metode, în condiții avantajoase, la mai multe minereuri ;

b) măcinarea la viteze supracritice, stabilindu-se, în faza de laborator, relații între viteza de rotație a morii, încărcătura de bile și capacitatea de prelucrare a morii, în concordanță cu rezultatele din literatura străină ;

c) măcinarea autogenă a minereurilor, care a fost studiată în fază-pilot pe minereuri neferoase, stabilindu-se relații între densitatea corpurilor de măcinare și capacitatea de prelucrare a morii ;

d) rezistența la măcinare și consumul specific de energie a tuturor minereurilor neferoase din țara noastră, aflate în exploatare, corespunzătoare măcinării la diverse finețe a minereurilor respective, folosind metoda și formula stabilite de I. Huber Panu și E. Popa [127].

— Studiile efectuate de Gh. Vanci și Gabriela Maltezeanu [89] în domeniul cianurării, care au arătat posibilitatea valorificării economice a unor concentrate de pirite sărace de la mai multe uzine de preparare din țară, prin prăjirea lor urmată de cianurare.

— Studiile lui Gh. Vanci privind problema valorificării minereurilor de fier [90], [91], prin care se aduc contribuții la stabilirea criteriilor de valorificare rațională a acestor minereuri.

— Cercetări privind emulsionarea reactivilor uleioși cu ajutorul ultrasunetelor, efectuate la Centrul de cercetări miniere de la Baia Mare [92], care, după studii efectuate mai întîi în laborator, au dus la realizarea unei instalații de emulsionat reactivi uleioși, folosind fluiere hidrodinamice. Utilizarea industrială a acestei instalații la Flotația centrală de la Baia Mare a dus la obținerea de rezultate favorabile (reducerea consumului de reactivi uleioși, creșterea extracțiilor de metal în concentrate, îmbunătățirea operațiilor de dozare a reactivilor etc.).

— Pe linia cercetărilor legate de valorificarea prin procedee chimice a unor minereuri care nu se pot valorifica prin procedeele clasice ale preparării, menționăm studiile efectuate în cadrul ICEMIN asupra minereurilor de mangan de la Vatra Dornei și Mașca Răzoare [93], precum și asupra minereurilor cu săruri de potasiu de la Tazlău și Gălean [94]. Astfel, pentru minereurile de mangan studiate s-a stabilit un procedeu constînd din leșierea la 80 °C cu acid sulfuric a minereului respectiv, amestecat într-o anumită proporție cu pirită, și apoi separarea din soluție a manganului prin precipitare cu sodă ; prin calcinarea produsului astfel obținut se obține în final un concentrat de oxizi de Mn cu 55—60% Mn. În cazul minereurilor cu săruri de potasiu s-a stabilit un procedeu prin care se pot valorifica toți componenții utili ai minereului ; acesta constă din calcinarea minereului la 450 °C și apoi dizolvarea sărurilor solubile în apă la 105 °C ; din soluția obținută se separă

apoi Mg prin precipitare cu sodă calcinată, iar apoi, prin evaporări și răciri succesive ale soluției rămase, se separă un concentrat de $ClK+SO_4K$ cu circa 55% $K_2O$ și un concentrat de ClNa, din care prin purificare se obține ClNa de puritate 99,5%.

— Cercetări privind sinteza și folosirea de reactivi de flotație, efectuate de M. Ionescu, Gh. Pascalide ș. a. [95]—[103], care au condus la :

*a*) perfecționarea proceselor tehnologice pentru producerea unor reactivi colectori aplicați curent în industrie (cazul xantatului etilic);

*b*) înlocuirea spumanților pe bază de uleiuri de conifere din import cu spumanți de sinteză ; astfel, printre altele, s-au obținut pe cale sintetică, prin policondensarea oxidului de etilenă, produse cu 4,5 și 11 moli de oxid de etilenă, având proprietăți spumante. Producerea acestor spumanți s-a realizat la scară industrială și în prezent se experimentează utilizarea lor la instalațiile de flotație din țară.

*c*) îmbogățirea numărului de sortimente de reactivi utilizați la prepararea substanțelor minerale utile cu o serie de produse noi — colectori, floculanți antispumanți etc. — cu proprietăți superioare. Astfel s-a realizat petrolul lampant oxidat, care în prezent se produce industrial, fiind utilizat cu bune rezultate la flotațiile șlamurilor de cărbune de la uzinele de preparare de la Anina și Petrila, precum și în cadrul cercetărilor de flotație a minereurilor de fier și a minereurilor de mangan. În scopul înlocuirii fosocrezolului s-a pus la punct procedeul de obținere a unor dialchildithiofosfați, a căror experimentare a arătat posibilitatea măririi extracțiilor de metale utile din concentrate, evitîndu-se în același timp impurificarea apelor reziduale cu produse fenolice. S-a sintetizat de asemenea cetilsulfatul de sodiu, reactiv colector-spumant utilizat la flotația baritei, pe baza rezultatelor bune obținute la experimentări, trecîndu-se la producția lui industrială.

Urmărindu-se obținerea unor reactivi floculanți cu eficacitate mărită, s-a pus la punct procedeul de obținere a poliacrilamidei și apoi a poliacrilamidei hidrolizate, a căror experimentare — comparativ cu separanul, floculant cu proprietăți superioare, din import — a dus la obținerea de rezultate bune.

Atenția deosebită acordată activității de cercetare din țara noastră de către conducerea partidului și a statului s-a reflectat și în rezultatele obținute în cercetarea cu caracter fundamental din domeniul preparării substanțelor minerale. Această activitate, desfășurată pe baze organizate și canalizată spre obiective strîns legate de necesitățile economiei naționale, a dus la obținerea de rezultate importante, multe cunoscute și apreciate și peste hotare.

În cinetica flotației, contribuțiile românești s-au produs o dată cu începerea pe plan mondial a studiilor în acest domeniu. Astfel, însăși definirea vitezei de flotație, adoptată azi unanim, prin derivata extracției de substanță utilă în raport cu timpul, aparține așa cum se subliniază în literatura străină [104] lui I. Huber Panu. Cercetări ulterioare [105], [106] ale aceluiași autor, au condus la stabilirea unor ecuații noi privind cinetica flotației. Aceste ecuații, spre deosebire de cele cunoscute anterior, nu presupun mate-

rialul care se flotează monodispers și nici substanța utilă în întregime flotabilă, ci țin seama atît de caracterul polidispers al materialului care se flotează cît și de existența în acest material a grăunților neflotabili. Cercetările acestea au permis totodată să se stabilească expresia coeficientului vitezei de flotație în funcție de diametrul mediu al bulelor de aer, diametrul mediu al particulelor minerale, vitezele medii ale bulelor și particulelor, precum și de condițiile hidrodinamice din celula de flotație.

Aceste ecuații au dat posibilitatea lui I. Huber Panu și B. Georgescu să stabilească [107], [108] funcții care exprimă variația cu timpul a indicilor tehnici ai flotației (extracția în greutate, conținuturile concentratului și sterilului, randamentul etc.). S-a pus totodată în evidență utilitatea de a folosi aceste funcții prin curbele lor reprezentative, denumite curbele cinetice ale flotației. Cercetările experimentale executate au condus la concluzia că aceste ecuații, stabilite pe cale teoretică, sînt verificate mulțumitor de datele experimentale în toate cazurile cercetate.

Aceeași autori au folosit unele dintre ecuațiile menționate mai sus pentru a studia influența granulometriei minereului asupra flotației, constatînd pentru clasele mai mici decît 60 μ curbele cele mai defavorabile ale indicilor flotației și o viteză de flotație sensibil mai mică, iar pentru clasa 70—100 μ curbele cele mai favorabile și viteza de flotație cea mai mare. Aceeași autori, în altă lucrare [109], au cercetat acțiunea aerației în flotație, stabilind o relație între parametrii caracteristici aerației (debit de aer, diametrul și viteza bulelor de aer) și viteza de flotație, punînd în evidență dependența condițiilor de aerație optime de granulometria minereului. Cercetările experimentale executate au confirmat deducțiile teoretice.

Cercetări mai noi ale lui I. Huber Panu în domeniul cineticii flotației [110], [111] au pornit de la constatarea că proprietățile superficiale ale particulelor de aceeași specie minerală nu sînt identice din multe motive și, ca urmare, nici flotabilitatea lor nu este aceeași. Această constatare l-a condus pe autor la luarea în considerare a funcției de frecvență a ciocnirilor eficace dintre particulele de substanță utilă și bulele de aer și la obținerea unor expresii mult mai generale pentru funcțiile care exprimă extracția de substanță utilă și viteza de flotație. Verificarea acestor funcții, făcută folosind atît rezultatele experiențelor executate de autor cît și cele executate de un alt cercetător, au arătat o bună concordanță între valorile calculate și cele experimentale.

In domeniul teoriei flotației, L. Dobrescu [112], studiind din punct de vedere termodinamic unele fenomene ce intervin în procesul flotației, stabilește ecuațiile care pun în evidență legătura dintre aceste fenomene și căldura de udare a mineralelor în soluții de reactivi. Ecuațiile deduse permit să se determine legătura care există între flotabilitatea unui mineral și udabilitatea sa în prezența și în absența reactivilor. Pentru determinarea udabilității și a flotabilității mineralelor, autorul a utilizat o metodă bazată pe determinarea căldurilor de udare.

Aplicînd calculul statistic la studiul flotației, L. Dobrescu [113] stabilește unele ecuații privitoare la probabilitatea desfășurării în timp a procesului de flotație, pe care le numește funcții flotațiometrice, arătînd și posibilitățile de aplicare ale acestora la aprecierea selectivității de flotație, la determinarea efectului produs de diverse modificări ale condițiilor de flotație și la stabilirea unei corelații între rezultatele de laborator și cele din practică.

În cadrul unui studiu privind interacțiunea unor reactivi cu suprafața particulelor minerale, M. Guran [114] a pus la punct o metodologie experimentală care utilizează metoda potențiometrică ; aceasta permite studiul adsorbției și desorbției unor reactivi la suprafața particulelor minerale. Același autor, într-o altă lucrare [115], prezintă un traductor spectro-fotometric pentru controlul automat al concentrației reziduale a ionilor de xantogenat din tulbureala de flotație, care prezintă interes pentru folosirea unei metode de control continuu al reziduurilor de xantat conținute în tulburelile de flotație și de reglare automată a adaosului de xantat.

În problema folosirii schimbătorilor de ioni în flotație, S. Tătaru a studiat afinitatea unor rășini schimbătoare de ioni față de ionii xantogenici [116]. Autorul a dat o explicație cantitativă afinității anioniților față de derivatele acidului ditiocarbonic folosite ca reactivi colectori în flotație, stabilind în cazul particular al adsorbției reactivilor sulfhidrici de către schimbătorii de ioni, rolul polarizabilității electronice și al refracției omologilor xantogenici în acest proces.

Într-o altă lucrare [117], același autor, studiind unele aspecte ale cineticii adsorbției xantogenaților de către ioniți, a determinat viteza de difuzie în rășină a diverșilor omologi ai acidului xantogenic, ceea ce prezintă interes practic la aprecierea posibilității îndepărtării reactivului colector din faza lichidă a tulburelii.

În cadrul cercetărilor privitoare la flotația cu oleat de sodiu a unor minerale de metale rare, P. Ilie [118], [119] a studiat influența unor reactivi modificatori asupra flotației cu oleat de sodiu a monazitei, piroclorului și zirconului, dînd indicații privind posibilitatea separării selective a concentratelor colective ce conțin mineralele respective. Cu ajutorul unor metode care folosesc analiza radiometrică și spectrometria în infraroșu, autorul a studiat mecanismul de acționare a sulfurii de sodiu asupra flotării cu oleat de sodiu a mineralelor sus menționate.

Avînd în vedere importanța flotației minereurilor foarte fine, s-au întreprins de către I. Huber Panu cercetări care au urmărit obținerea pe mai multe căi a unor rezultate superioare la flotația claselor mai mici de 30 μ. Cercetările lui I. Huber Panu și C. Pandelescu [120], care au căutat soluția acestei probleme prin folosirea unui regim de reactivi adecvat caracteristicilor determinate de gradul înalt de dispersiune ale minereului, au condus la concluzii utile, printre care acelea că la flotarea acestui fel de minereuri trebuie să se renunțe la folosirea spumanților, că sînt necesare cantități mult mai mari de colector, care pot fi apreciabil micșorate dacă condiționarea tul-

burelii se face în stare îngroșată, și că sînt necesare durate de condiționare cu colector și durate de flotație mult mai mari decît la flotațiile obișnuite.

Alte cercetări ale acelorași autori [121] s-au referit la influența aerației asupra flotației minereurilor foarte fine și au condus la concluzia că, pentru astfel de minereuri, nici în condiții optime de aerație nu se realizează o îmbunătățire apreciabilă a indicilor tehnici ai flotației. În schimb însă, acționînd asupra parametrilor aerației, se poate obține o mărire importantă a vitezei de flotație. Fiecărei clase granulometrice îi corespunde o viteză de flotație maximă, determinată de anumite condiții de aerație. Prin acțiunea aerației nu se poate realiza însă îmbunătățirea rezultatelor flotației claselor foarte fine (mai mici decît 10 μ) la nivelul aceleia a claselor mai mari.

În ultimii ani s-au abordat în țara noastră, de către I. Huber Panu, cercetări privind flotația cu aer degajat din soluție, îndeosebi în scopul de a stabili posibilitatea folosirii acestui procedeu în cazul minereurilor foarte fine în locul flotației obișnuite, care dă la astfel de minereuri rezultate nesatisfăcătoare. Unele lucrări ale lui I. Huber Panu [122], [123] în acest domeniu, s-au referit la bazele teoretice ale acestei metode de flotație, stabilind, printre altele, expresia vitezei de degajare a aerului din soluție în condițiile procesului, precum și ecuațiile cineticii flotației cu aer degajat din soluție. Rezultatele experiențelor executate au verificat bine formulele teoretice și au permis să se pună în evidență că flotația cu aer degajat din soluție decurge cu o viteză pronunțat mai mare decît flotația obișnuită în cazul materialelor foarte fine ($< 10\,\mu$). Alte cercetări [124] au stabilit pe cale experimentală că prin aplicarea flotației cu aer degajat din soluție se realizează față de flotația obișnuită și o îmbunătățire a indicilor flotației (calitatea concentratului, extracția de substanță utilă și randamentul) deosebit de accentuată pentru materialul fin ($< 10\,\mu$). Aceleași cercetări au studiat influența pe care o au asupra rezultatelor flotației cu aer degajat din soluție principalii factori care intervin : cantitățile de colector și de spumant, timpul de trecere a tulburelii prin celula de flotație și gradul de reducere a presiunii.

Pentru studii privind proiectarea, controlul și optimizarea funcționării instalațiilor de flotație, precum și din punct de vedere teoretic, prezintă interes ecuațiile exprimînd desfășurarea procesului flotației în mașini multicelulare, stabilite recent de I. Huber Panu [125]. Luînd în considerare cea mai probabilă expresie pentru funcția de frecvență a flotabilității particulelor de substanță utilă, ecuația generală stabilită permite să se deducă ecuații cu care se poate calcula extracția de substanță utilă realizată într-o instalație de flotație multicelulară în funcție de un număr redus de parametri ce pot fi determinați experimental folosind o singură celulă.

În mai multe domenii ale preparării, unde este necesară determinarea suprafeței specifice a materialului, își găsește utilizarea formula stabilită de I. Huber Panu [126], făcînd ipoteza că mărimile determinate experimental pentru fiecare clasă granulometrică reprezintă valoarea medie a funcției care exprimă mărimea respectivă în intervalul corespunzător acelei clase. Verificări experimentale au arătat că, în special pentru evaluarea suprafeței celei

mai fine clase a unui produs, formula dedusă dă rezultate mult mai exacte decît alte formule.

În domeniul măcinării s-a stabilit de către I. Huber Panu şi E. Popa [127] o metodă de calcul a capacităţii maşinilor de măcinare şi totodată o metodă de dimensionare a acestor maşini. În cadrul acestei lucrări se stabilesc pe bază teoretică formule pentru calculul capacităţii morilor cu bile sau cu bare, pentru calculul indicelui relativ de măcinare al materialului şi pentru calculul suprafeţei specifice în funcţie de parametrii ce pot fi determinaţi cu mijloace experimentale simple. Folosirea în practică a acestei metode a confirmat superioritatea ei faţă de metodele empirice utilizate în mod obişnuit.

În domeniul cianurării, în cadrul unor cercetări privind cianurarea minereurilor aurifere, A. P. Bodiu a pus în evidenţă influenţa *p*H-ului şi a naturii reactivului alcalinizator asupra cineticii dizolvării aurului în soluţii de cianură [128]. Autorul a arătat că obţinerea vitezei maxime de cianurare a aurului depinde de folosirea unei anumite valori-limită a *p*H-ului, determinată de raportul dintre concentraţia cianurii active şi cea a oxigenului activ; de asemenea, pe baza experimentărilor efectuate, autorul consideră că folosirea ca adaos de alcalinizare a amoniacului duce la realizarea de indici superiori acelora obţinuţi în cazul folosirii varului sau a hidratului de sodiu.

În cadrul unei alte lucrări [129], acelaşi autor aduce contribuţii la studiul influenţei concentraţiei ionilor de $CN^-$ asupra procesului de cianurare, stabilind experimental valoarea concentraţiei ionilor de $CN^-$, la care procesul se desfăşoară în condiţii optime.

În domeniul metodelor gravitaţionale de preparare, într-un studiu privind teoria concentrării substanţelor minerale utile prin zeţaj, L. Dobrescu [130] apreciază că procesul zeţajului se produce prin două fenomene esenţiale şi anume: formarea patului fluidizat şi căderea grăunţilor în acest pat; pentru fiecare dintre cele două fenomene principale ale zeţajului au fost stabilite ecuaţii care permit să se determine parametrii care influenţează zeţajul.

În cadrul unor cercetări asupra zeţajului de înaltă frecvenţă, P. Vlad [131] a adus contribuţii la explicarea teoretică a procesului şi a stabilit o relaţie între principalii factori care intervin şi indicii cantitativi şi calitativi ai procesului de separare.

Studiul procesului de zeţaj prin metoda analizei dimensionale i-a permis lui B. Nagy [132] să stabilească influenţa caracteristicilor patului artificial şi a parametrilor hidraulici de funcţionare a maşinilor de zeţaj asupra rezultatelor concentrării cărbunelui mărunt prin zeţaj cu pat artificial. Totodată autorul a tras concluzii privitoare la criteriile de alegere a regimului optim de funcţionare a maşinilor de zeţaj.

Studiind funcţionarea unei maşini de zeţaj cu piston ca obiect al comenzii automate, I. Ghiţă, pe baza analizei procesului de zeţaj, a stabilit unele ecuaţii privitoare la mişcarea materialului în maşina de zeţaj, ceea ce permite determinarea modului de comportare a maşinii de zeţaj ca element al unui sistem de comandă automată.

În domeniul concentrării în medii dense, I. Huber Panu și C. Pandelescu au executat cercetări [133], [134] care au urmărit îmbunătățirea proprietăților suspensiilor prin modificări la suprafața de separație dintre faze. S-a stabilit astfel că prin adaosuri la suspensiile folosite la concentrarea minereurilor, fie a unor substanțe cu acțiune anionică (alcooli alifatici sulfatați), fie a unora cu acțiune cationică (amine alifatice), se poate obține o micșorare importantă a viscozității și totodată o mărire a stabilității suspensiilor respective. Rezultă dar că prin aceste adaosuri se poate mări eficacitatea metodei de concentrare cu medii dense și extinde aplicarea ei la concentrarea minereurilor mai mărunte. În lucrare, fundamentîndu-se științific interacțiunea dintre faza solidă și substanțele tensioactive din categoriile menționate, se deduc criteriile de alegere ale acestor substanțe.

În cadrul unor cercetări asupra principalelor proprietăți fizice ale suspensiilor grele, C. Pandelescu [135]—[137], pornind de la dependența eficienței separării în suspensii grele de proprietățile reologice ale acestora, indică posibilitatea stabilirii condițiilor — privind atît suspensia cît și materialul de separat — care să ducă la obținerea rezultatelor optime la separare. De asemenea autorul propune un nou indice pentru exprimarea stabilității suspensiilor grele, pe baza vitezei de scădere a densității medii a suspensiei pe o anumită înălțime.

Așa cum se poate vedea din cele de mai sus, activitatea de cercetare în domeniul preparării substanțelor minerale în țara noastră a avut o mare dezvoltare, cu deosebire în anii regimului socialist.

În prezent, în România socialistă se poate constata, în complexul activității organizate de cercetare, o mișcare științifică susținută, în continuă creștere, în domeniul preparării substanțelor minerale, care atrage situarea țării noastre alături de alte țări cu o îndelungată tradiție în acest domeniu de activitate.

Activitatea desfășurată de cercetătorii din domeniul preparării, ca și din celelalte domenii, bucurîndu-se în permanență de sprijinul și de încurajarea partidului și a guvernului țării, a dus la obținerea de rezultate remarcabile. S-au pus la dispoziția industriei numeroase rezultate ale cercetării, s-au fundamentat noi direcții de cercetare, s-au adus contribuții valoroase la dezvoltarea științei românești, toate menite să sprijine dezvoltarea economiei naționale. Rezultatele obținute constituie temeliile sigure ale activității viitoare, menită să contribuie la ridicarea științei și tehnicii românești pe culmi cît mai înalte.

BIBLIOGRAFIE

1. I. Huber Panu (1930): *Uber den Einfluss der Temperatur auf die Flotation*, Imprim. E. Mauckisch, Freiberg.
2. I. Huber Panu (1933): *Contribution à la théorie de la flotation, Bulletin de Mathématique et de Physique, 2—3.*
3. I. Huber Panu (1931): Uber den Einfluss der Temperatur auf die Flotation, *Metall und Erz, 23.*

4. W. Petersen (1936): *Schwimmaufbereitung*, Verlag Theodor Steinkopff, Dresden und Leipzig.
5. W. Gründer (1951): *Aufbereitungskunde*, Verlag Robert Kiepert, Band I, Berlin.
6. A. Eucken, M. Iakob (1933): *Der Chemie-Ingenieur*, Akademische Verlagsgesellschaft, Band I, Teil 2, Leipzig.
7. I. M. Verhovschii (1949): *Principii de proiectare și apreciere a proceselor de preparare a mineralelor utile*, Moscova.
8. I. Huber Panu (1931): Betrachtungen über die Grundkurven der Aufbereitungsprozesse, *Metall und Erz, 23.*
9. I. Huber Panu (1935): Elemente pentru controlul funcționării și proiectarea instalațiunilor de preparare mecanică, *Bul. Soc. Politehnice, 2.*
10. I. Finkey (1933): Rechnerische Ermittlung der Aufbereitungskurven, *Glückauf, 26.*
11. E. Blümel (1937): Die Genauigkeit von Waschkurven, *Glückauf, 5.*
12. H. Heidenreich (1954): *Die Erfolgsrechnung im Aufbereitungsbetrieb.* Verlag Glückauf, Essen.
13. E. Bădescu (1930): *Mahl- und schwimmtechnische Untersuchungen, angeführt an einem österreichischen Kupferfahlerz und einem Siegerländer Blei-Zinkerz*, Dissertation, Universitätsverlag von Robert Noske in Borna-Leipzig.
14. I. Huber Panu (1940): Une théorie générale des methodes de classement et de concentration gravimétriques des minerais et des charbons. *Bul. Soc. Politehnice, 1.*
15. R. Bădescu, Gh. Vanci (1939): Sur la méthode des cyanuration dans l'exploatation de l'or, *Bul. Soc. Politehnice, 6.*
16. R. Bădescu, Gh. Vanci (1956): Contribuții la problema cianurării continue a minereurilor aurifere, *Studii și cercetări de metalurgie, 1.*
17. I. Marinescu (1933), (1934): Cercetări asupra posibilităților de cianurare a concentratelor obținute prin flotație, *Miniera, 12* și *1—2.*
18. Gh. Vanci (1941): Câteva considerațiuni asupra posibilităților de preparare prin cianurare a minereurilor aurifere din România, *Analele Minelor, 9.*
19. I. Marinescu (1932): *Untersuchungen über die Trockenaufbereitung einiger deutscher sandiger Braunkohlen*, Imprim. E. Maukisch, Freiberg.
20. D. Gligor, C. Grigorescu, Iulia Rohr (1957): Încercări de preparare cu minereu de la Leșul Ursului, *Anuarul Institutului de cercetări miniere.*
21. D. Gligor, Rodica Popovici, Alla Hrapunova (1957): Studiul preparării minereurilor complexe de la Țibleș, *Anuarul Institutului de cercetări miniere.*
22. D. Gligor, M. Cristovici, Rodica Popovici, L. Beghegeanu, Adela Popescu (1957): Studiul preparării minereurilor complexe de la Muncelul Mic, *Anuarul Institutului de cercetări miniere.*
23. S. Dima, Lucia Penciulescu (1960): Studii de preparare cu minereul complex de la Burloaia, *Cercetări metalurgice și miniere, 2.*
24. M. Cristovici, C. Grigorescu, A. Stoian, I. Rohr, A. Popescu, I. Iacoban (1960): Cercetări noi în problema valorificării minereurilor aurifere de la Baia de Arieș, *Cercetări metalurgice și miniere, 2.*
25. D. Gligor, M. Cristovici, A. Nistorescu, S. Lăzărescu (1960): Definitivarea fluxului tehnologic de preparare a minereului Muncelul Mic prin încercări în faza pilot, *Cercetări metalurgice și miniere, 2.*
26. A. Balkany (1960): Studiul înnobilării bauxitelor din regiunile Pădurea Craiului și Cornet, *Cercetări metalurgice și miniere, 2.*
27. E. Popa, Lucia Iliescu (1960): Studiul preparării calcarelor baritifere, *Cercetări metalurgice și miniere, 2.*
28. A. Stoian, Corina Rohr (1961): Studiul preparării bauxitelor din R.P.R., *Cercetări metalurgice și miniere, 3.*
29. E. Popa, Rodica Popovici, Silvia Lazăr (1961): Reglarea fluxului tehnologic al instalației de preparare de la Dognecea, *Cercetări miniere, 4.*
30. D. Gligor, E. Popa, M. Cristovici, M. Popescu (1961): Reglarea fluxului tehnologic al instalației de preparare a minereurilor de la Muncelul Mic, *Cercetări miniere, 4.*

31. S. Dima, Lucia Maghiar (1961): Cercetări de preparare cu minereu de la Leșul Ursului, *Cercetări miniere, 4*
32. S. Dima, Lucia Maghiar (1961): Încercări de preparare cu minereul de la Leșul Ursului pentru obținerea de concentrate colective, *Cercetări miniere, 4.*
33. E. Popa, Rodica Popovici, Silvia Lazăr (1961): Studiul preparării minereului complex de la Somova, *Cercetări miniere, 4.*
34. A. Balkani, Ileana Toma, Adela Popescu (1961): Încercări de ridicare a conținutului în $CaCO_3$ la creta de la Basarabi prin eliminarea silexului și a diverselor impurități ce le conține, *Cercetări miniere, 4.*
35. Lucia Maghiar, Lucia Iliescu (1962): Prepararea banatitelor cu impregnații cuprifere de la Moldova Nouă, *Cercetări miniere, 5.*
36. Lucia Maghiar (1962): Prepararea minereului de pirită cupriferă din corpul Florimunda (Moldova Nouă), *Cercetări miniere, 5.*
37. C. Grigorescu, A. Balkani, Doina Butucescu, I. Wechsler (1963): Căile de valorificare prin preparare a substanțelor minerale nemetalifere, *Cercetări miniere, 6.*
38. D. Gligor, S. Dima, Lucia Maghiar (1963): Cercetări privind valorificarea minereurilor complexe de la Leșul Ursului, *Cercetări miniere, 6.*
39. M. Sîrbu, L. Rîbacov, A. Stoian, D. Tulliu (1957): Prepararea minereului de fier de la Ocna de Fier, *Anuarul Institutului de Cercetări miniere.*
40. M. Sîrbu, I. Iacoban, A. Nistorescu (1957): Prepararea minereurilor sărace de mangan din Bucovina, *Anuarul Institutului de cercetări miniere.*
41. M. Sîrbu, I. Iacoban, A. Nistorescu (1960): Cercetări noi în problema preparării minereurilor de mangan de la Vatra Dornei, *Cercetări metalurgice și miniere, 2.*
42. I. Ion, Georgeta Dolmanian (1960): Studiul posibilităților de preparare a gabrourilor din munții Drocii, *Cercetări metalurgice și miniere, 2.*
43. I. Ion, Ileana Toma (1961): Studiul preparării minereurilor de fier sărace din munții Poiana Ruscă, *Cercetări metalurgice și miniere, 3.*
44. Doina Butucescu, M. Sîrbu (1961): Prepararea minereului cu oxizi nemagnetici de la Ocna de Fier, *Cercetări miniere, 4.*
45. M. Sîrbu, Ileana Toma, Maria Buligan, A. Stoian, V. Hîncu (1962): Prepararea minereurilor de fier sărace și silicioase de la Iazuri, Iulia și munții Căliman, *Cercetări miniere, 5.*
46. I. Ion, Doina Butucescu, Maria Buligan (1962): Îmbogățirea prin flotație a minereului cu oxizi de mangan de la Vatra Dornei, *Cercetări miniere, 5.*
47. M. Sîrbu, I. Toma, M. Buligan, A. Stoian, V. Hîncu (1963): Posibilități de valorificare a unor minereuri de fier sărace și silicioase, *Cercetări miniere, 6.*
48. M. Sîrbu, A. Stoian, D. Tulliu, Ludmila Rîbacov (1957): Prepararea minereului de fier de la Teliuc, *Anuarul Institutului de cercetări miniere.*
49. M. Guran, M. Sîrbu, Ileana Toma, I. Nițulescu, D. Ciofrîngeanu (1966): Prepararea minereurilor de fier de la Teliuc-Ghelar, *Comunicare, Sesiunea ICEMIN*, nov.
50. I. Ion, Doina Butucescu, (1961): Studiul preparării minereului de fier de la Lueta, *Cercetări matelurgice și miniere, 3.*
51. Doina Butucescu, I. Ion, M. Sîrbu (1961): Studiul preparării minereului de fier de la Lueta, *Cercetări miniere, 4.*
52. I. Ion, M. Sîrbu, Ileana Toma, Adela Popescu, M. Guran, V. Hîncu, I. Iacoban, D. Tulliu, Doina Butucescu, Iulia Rohr (1961): Studiul preparării minereurilor de fier de la Căpuș-Cluj, *Cercetări miniere, 4.*
53. I. Ion, M. Sîrbu, I. Toma, A. Zătreanu, M. Guran, V. Hîncu, I. Iacoban, D. Tulliu, D. Butucescu, I. Caba (1963): Cercetări privind prepararea minereului de fier de la Căpuș-Cluj, *Cercetări miniere, 6.*
54. A. Balkani, Ileana Toma, Adela Popescu (1961): Încercări de ridicare a conținutului în $CaCO_3$ la creta de la Basarabi prin eliminarea silexului și a diverselor impurități ce le conține, *Cercetări miniere, 4.*

55. A. Balkani, Adela Zătreanu (1962): Innobilarea caolinurilor indigene pentru industria hîrtiei, *Cercetări miniere, 5.*

56. C. Grigorescu, A. Balkani, D. Butucescu, I. Wechsler (1963): Căile de valorificare prin preparare a substanţelor minerale nemetalifere, *Cercetări miniere, 6.*

57. Simina Crăciun (1957): Studii şi încercări de spălarea cărbunilor de la I.C. Vulcan în vederea proiectării spălătoriei Coroeşti, *Anuarul Institutului de cercetări miniere.*

58. D. Ionescu, V. Anghel, B. Racoviţă, E. Călin (1957): Studiul uscării lignitilor prin fluidizare, *Anuarul Institutului de cercetări miniere.*

59. E. Olteanu, E. Anghel, C. Camerman (1957): Studiul descenuşării şi brichetării lignitului de Rovinari, *Anuarul Institutului de cercetări miniere.*

60. Lidia Miriunis (1960): Stabilirea condiţiilor optime de funcţionare a instalaţiei de flotaţie de la preparaţia Lupeni, *Cercetări metalurgice şi miniere, 2.*

61. N. Herţa (1961): Sortarea cărbunilor de Anina în medii dense, *Cercetări miniere, 4.*

62. V. Anghel, B. Racoviţă, D. Ionescu, Elena Sava, I. Scutaru (1961): Studiul uscării şi brichetării lignitilor, *Cercetări metalurgice şi miniere, 3.*

63. V. Anghel, I. Scutaru, A. Minescu 1963): Noi rezultate obţinute în domeniul uscării lignitilor, *Cercetări miniere, 6.*

64. E. Olteanu, V. Anghel, I. Scutaru, A. Minescu (1963): Noi rezultate obţinute în domeniul brichetării lignitilor, *Cercetări miniere, 6.*

65. D. Gligor, M. Cristovici, M. Guran (1957): Introducerea hidrocicloanelor pentru îmbunătăţirea fluxului tehnologic al instalaţiei de la Gura Barza, *Anuarul Institutului de cercetări miniere.*

66. I. Ion, D. Tulliu (1961): Imbunătăţirea condiţiilor de funcţionare a instalaţiei de preparare a baritei de la Somova, *Cercetări miniere, 4.*

67. A. Nistorescu, I. Pandelescu (1961): Folosirea hidrocicloanelor pentru îngroşarea sterilelor de flotaţie, în vederea măririi capacităţii de decantare a iazurilor, *Cercetări miniere, 4.*

68. I. Ion, D. Tulliu (1962): Studiul preparării sorturilor de grafit, posibilităţi de obţinere şi îmbunătăţire a calităţii produselor finite şi reglarea fluxului tehnologic la instalaţia existentă, *Cercetări miniere, 5.*

69. E. Popa, Rodica Popovici, Alla Hrapunova, Silvia Lazăr (1962): Reducerea conţinutului de fier din concentratele zincoase, *Cercetări miniere, 5.*

70. P. Tarnovschi. Gh. Jurca, E. Popa, M. Cristovici, Rodica Popovici, M. Popescu, Silvia Lazăr, I. Pandelescu (1963): Reglări de fluxuri tehnologice în instalaţiile noi de preparare a minereurilor neferoase, *Cercetări miniere, 6.*

71. Rodica Popovici, Silvia Lazăr, E. Popa, D. Gligor, I. Pandelescu (1966): Aplicarea industrială, în uzina Tarniţa, a tehnologiei elaborate de ICEMIN pentru prelucrarea piritei cuprifere din zăcămîntul Leşul Ursului, *Comunicare, Sesiunea ICEMIN,* nov

72. D. Gligor, E. Popa, S. Dima (1966): Cercetări privind valorificarea superioară a minereurilor complexe, *Revista Minelor, 8.*

73. C. Pandelescu (1958): Untersuchungen über die Anwendungsmöglichkeiten des Schwimm- und Sinkverfahrens bei der Vorkonzentrierung eines in der R.V.R. vorkommenden komplexen Sulfiderzes, *Revue de métallurgie, 2.*

74. Gh. Vanci (1960): Contribuţii la îmbunătăţirea indicilor tehnico-economici la instalaţiile de flotaţie din R.P.R. prin preconcentrare gravitaţională, *Studii şi cercetări de metalurgie, 2.*

75. E. Popa (1961): Studiul metodelor noi de preparare posibile de aplicat la minereurile noastre, *Cercetări miniere, 4.*

76. E. Popa, Silvia Lazăr, Rodica Popovici, I. Orăscu (1962): Posibilităţi de aplicare a preconcentrării în suspensii grele a minereurilor neferoase, *Cercetări miniere, 5.*

77. E. Popa, Rodica Popovici, Silvia Lazăr, I. Orăscu (1963): Posibilitățile de aplicare a preconcentrării în suspensii grele a minerurilor neferoase, *Cercetări miniere ,6.*
78. Lucia Iliescu (1961): Obținerea unor concentrate colective de plumb și zinc din minereuri complexe puțin cuproase (minereul de la Cavnic), *Cercetări miniere, 4.*
79. M. Cristovici, Beatrice Frumosu, Eugenia Apostolescu, M. Popescu, M. Sivriu, I. Marin (1964): Aplicarea flotației colective pentru plumb și zinc la minereurile neferoase, în vederea aplicării unui nou procedeu metalurgic, *Revista Minelor, 11.*
80. Lucia Maghiar, E. Popa (1963): Cercetări privind posibilitățile de introducere a flotației colective urmată de separare diferențială la prepararea minereurilor neferoase, *Cercetări miniere, 6.*
81. S. Ganițchi, V. Vasilov, C. Buciu (1963): Flotarea colectivo-selectivă a unor minereuri neferoase, *Cercetări miniere, 6.*
82. P. Rosinger, S. Dima, Lucia Iliescu (1962): Cercetări privind prepararea minereului cu carbonați de Pb-Cu-Zn de la Somova, Dobrogea, *Cercetări miniere, 5.*
83. P. Rosinger, S. Dima, Lucia Iliescu, Rodica Popovici, Silvia Lazăr (1963): Cercetări privind prepararea minereului cu carbonați de Pb-Cu-Zn de la Somova, Dobrogea, *Cercetări miniere, 6.*
84. S. Dima, Lucia Iliescu, Atena Dragomirescu (1966): Cercetări privind recuperarea molibdenului din minereul de la Moldova Nouă, *Comunicare, Sesiunea ICEMIN,* nov.
85. A. Stoian, Ludmila Rohr, V. Vintilescu (1962): Cercetări de preparare a micașisturilor cu conținut de disten, *Cercetări miniere, 5.*
86. A. Stoian, Ludmila Rohr, V. Vintilescu (1963): Cercetări privind tehnologia de preparare a rocilor cu disten din munții Lotrului, *Cercetări miniere, 6.*
87. M. Badea (1965): Contribuții la studiul procesului de preparare a nisipurilor cuarțoase prin metoda abraziunii, *Studii și cercetări de metalurgie, 2.*
88. E. Popa, Gh. Șega, Rodica Popovici, I. Orăscu, I. Pandelescu (1962): Procedee noi de măcinare experimentate pe unele minereuri neferoase din R.P.R., *Cercetări miniere, 5.*
89. Gh. Vanci, Gabriela Maltezeanu (1957): Valorificarea piritelor aurifere sărace nevalorificabile pe cale metalurgică, *Studii și cercetări de metalurgie, 1—2.*
90. Gh. Vanci (1962): Câteva aspecte tehnico-economice privind importanța preparării minereurilor de fier în procesul de elaborare a fontei, *Metalurgia și Construcții de mașini, 8.*
91. Gh. Vanci, Stadiul și importanța preparării mecanice și termice precum și a reducerii directe a minereurilor de fier în dezvoltarea industriei siderurgice, *Metalurgia și Construcții de mașini, 11.*
92. I. Pop, Eugenia Ganițchi (1966): Realizări în domeniul emulsionării reactivilor uleioși cu ajutorul ultrasunetelor, *Revista Minelor, 10.*
93. M. Dumitru (1965): Valorificarea prin tratare chimică a minereurilor de Mn, *Comunicare, Sesiunea ICEMIN.*
94. P. Rosinger, M. Ionescu, Elisabeta Șerban, Alexandra Prasa (1966): Valorificarea minerului potasic de la Tazlău, *Comunicare, Sesiunea ICEMIN,* nov.
95. Gh. Pascalide, Gabriela Dinescu (1957): Prepararea colectorilor cationici, *Anuarul Institutului de cercetări miniere.*
96. Gh. Pascalide, S. Pașcovici (1957): Oxidarea fracțiunilor de petrol lampant, *Anuarul Institutului de cercetări miniere.*
97. M. Ionescu, Gh. Pascalide, Gabriela Dinescu (1960): Sinteza xantaților superiori, *Cercetări metalurgice și miniere, 2.*
98. M. Ionescu, Gh. Pascalide (1961): Progrese obținute în R.P.R. în domeniul sintezei reactivilor pentru prepararea minereurilor, *Revista Minelor, 10.*

99. Gh. Pascalide, Georgeta Licurici (1962): Obținerea de reactivi de tip „amine alifatice superioare $C_{12}$—$C_{20}$" pentru flotarea sărurilor de potasiu, *Cercetări miniere, 5.*
100. Gh. Pascalide, Georgeta Licurici (1962): Studiul obținerii unor ractivi antispumanți și al posibilităților de folosire a acestora, *Cercetări miniere, 5.*
101. Elena Anghel, N. Herța (1963): Înlocuirea reactivilor cu fenoli cu reactivi anorganici la flotația cărbunilor, *Cercetări miniere, 6.*
102. Gh. Pascalide, A. Popovici, S. Zarea, D. Dumitrescu, Georgeta Dolmanian, A. Nistorescu, E. Gheorghe, Georgeta Licurici (1963): Noi reactivi sintetizați de ICEMIN din materii prime indigene pentru prepararea minereurilor, *Cercetări miniere, 6.*
103. Gh. Pascalide, Ana Popovici, Doina Dumitrescu, Silvia Zarea, Elena Gheorghe (1964): Cercetări și rezultate în domeniul sintezei și folosirii reactivilor de flotație, *Revista Minelor, 11.*
104. K. F. Beloglazov (1950): *Legile procesului de flotație,* Traducere din l. rusă, I.D.T.
105. I. Huber Panu (1956): Contribuțiuni la studiul cinetic al flotației, *Comunicările Academiei R.P.R.,* 6, *1.*
106. I Huber Panu (1956): Beiträge zur Kinetik der Flotation, *Revue de métallurgie,* Acad. R.P.R., *1.*
107. I Huber Panu, B. Georgescu (1956): Variația indicilor tehnologici ai flotației în funcție de durata procesului în cazul producerii unui singur concentrat, *Studii și cercetări de metalurgie,* Academia R.P.R., *1.*
108. I. Huber Panu, B. Georgescu (1959): Sur les équations cinétiques des indices techniques de la flotation, *Revue roumaine de métallurgie,* Acad. R.P.R., *2.*
109. I. Huber Panu, B. Georgescu (1961): Untersuchungen über den Einfluss der Belüftung auf die Flotationskinetik, *Revue roumaine de métallurgie,* Acad. R.P.R., *2.*
110. I. Huber Panu (1964): Über einige Gleichungen zur Flotationskinetik, *Revue roumaine des sc. techn. Métallurgie,* Acad. R.P.R., *1.*
111. I. Huber Panu (1965): Beitrag zur Theorie der Flotationskinetik, *Freiberger Forschungshefte,* A *335,* V.E.B., Leipzig.
112. L. Dobrescu (1957): Étude thermodynamique de l'action des réactifs dans la flotation des minerais, *Revue de métallurgie,* Acad. R.P.R., *2.*
113. L. Dobrescu (1964): Unele aplicații ale calculului statistic în flotație, *Studii și cercetări de metalurgie,* Acad. R.P.R., *2.*
114. *M. Guran* (1962): Studiul interacțiunii reactivilor cu suprafața particulelor minerale, în flotație, *Studii și cercetări de metalurgie,* Acad. R.P.R., *2.*
115. M. Guran (1963): Studiul unui traductor spectro-fotometric pentru reglarea automată a consumului de xantat în instalațiile de flotație, *Studii și cercetări de metalurgie,* Acad. R.P.R., *1.*
116. S. Tătaru (1964): Afinitatea rășinilor schimbătoare de ioni față de ionii xantogenici, *Studii și cercetări de metalurgie,* Acad. R.P.R., *1.*
117. S. Tătaru (1964): Aspecte ale cineticii adsorbției xantogenaților de către ioniți, *Studii și cercetări de metalurgie,* Acad. R.P.R., *1.*
118. P. Ilie (1966): Influența reactivilor regulatori asupra flotării unor minerale de metale rare cu oleat de sodiu, *Studii și cercetări de metalurgie,* Acad. R.S.R., *1.*
119. P. Ilie (1966): Desorbția selectivă a oleatului de sodiu, *Revista Minelor, 2.*
120. I. Huber Panu, C. Pandelescu (1962): Untersuchungen über die Flotation sehr fein vermahlener Erze, *Revue roumaine de métallurgie,* Acad. R.P.R., *2.*
121. I. Huber Panu, C. Pandelescu (1964): Recherches concernant l'influence de l'aeration sur la flotation des minerais très finement broyés, *Revue roumaine de métallurgie,* Acad. R.P.R., *1.*
122. I. Huber Panu (1965): Über die Kinetik der Flotation mit Luftentlösung aus der Trübe, *Revue roumaine des sciences techniques — Métallurgie,* Acad. R.S.R., *1.*
123. I. Huber Panu (1966): Beitrag zur Theorie der Flotation mit Gasblasenausscheidung aus der Trübe, *Freiberger Forschungshefte,* V.E.B., Leipzig.

124. I. Huber Panu, C. Pandelescu, A. Protopopescu (1964): Contributions à l'étude de la flotation de minerais très fins, a air dégagé de la solution, *Revue roumaine des sciences techniques — Métallurgie*, Acad. R.P.R., *2*.
125. I. Huber Panu (1966): Beitrag zur Berechnung der in den Vielzellenmaschinen erzielten Flotationsergebnissen, *Revue roumaine des sciences techniques — Métallurgie*, Acad. R.S.R., *2*.
126. I. Huber Panu (1948): Contributions à l'évaluation de la surface des produits mineraux solides, *Bulletin de l'Ecole Polytechnique de Bucarest, 2—3*.
127. I. Huber Panu (1958): Contribution à l'établissement d'une méthode de calcul de la capacité des broyeurs, *Revue de métallurgie*, Acad. R.P.R., *2*.
128. A. P. Bodiu (1965): Influența *p*H-ului asupra cineticii dizolvării Au în soluții de cianură, *Studii și cercetări de metalurgie*, Acad. R.P.R., *1*.
129. A. P. Bodiu (1966): Influența concentrației ionilor de $CN^-$ și a oxigenului activ asupra vitezei de dizolvare a Au din materiile prime naturale, *Studii și cercetări de metalurgie*, Acad. R.S.R., *2*.
130. L. Dobrescu (1958): Contribuții la teoria concentrării substanțelor minerale utile prin zețaj, *Studii și cercetări de metalurgie*, Acad. R.P.R., *4*.
131. P. Vlad (1955): Studiul teoretic și experimental asupra influenței factorilor principali ai zețajului de minereu mărunt în mașinile cu frecvența ridicată a pulsației, *Disertație*, Moscova.
132. B. Nagy (1965): Analiza dimensională ca metodă de cercetare a concentrării substanțelor minerale utile prin zețaj, Comunicare, *Sesiunea de referate și comunicări, Baia Mare*, oct.
133. I. Huber Panu, C. Pandelescu (1960): De l'amélioration des propriétés des suspensions lourdes, utilisées dans la préparation des minerais, par l'adjonction des substances superficiellement actives, *Revue roumaine de métallurgie*, Acad. R.P.R., *2*.
134. I. Huber Panu, C. Pandelescu (1964): De l'amélioration des propriétés des suspensions lourdes, utilisées dans la préparation des minerais, par l'addition d'agents de surface, IV Congres international de la detergence, Bruxelles.
135. C. Pandelescu (1966): Proprietățile reologice și eficiența separării la prepararea în suspensii grele, *Studii și cercetări de metalurgie*, Acad. R.S.R., *1*.
136. C. Pandelescu (1966): Studiu asupra determinării stabilității suspensiilor grele utilizate la concentrarea în medii dense, *Studii și cercetări de metalurgie*, Acad. R.S.R., *2*.
137. C. Pandelescu (1966): Recherches concernant les principales propriétés physiques des suspensions utilisées dans la concentration en milieux denses, *Revue roumaine des sciences techniques — Métallurgie*, Acad. R.S.R., *2*.

# CERCETĂRILE METALURGICE ÎN ROMÂNIA

Metalurgia, ale cărei începuturi pe teritoriul patriei noastre se pierd în negura vremurilor, cele mai vechi urme de elaborare şi de prelucrare a metalelor datînd cu multe mii de ani înaintea zilelor noastre, a devenit unul dintre meşteşugurile în care vestea măiestriei metalurgilor din ţările româneşti s-a răspîndit curînd mult peste hotare.

Primele începuturi de producţie industrială modernă a fierului au fost făcute în Banat — vechi leagăn de dezvoltare a metalurgiei, unde, după pacea de la Pojarevaţi (1716), care a marcat sfîrşitul stăpînirii otomane, s-a început producerea lupelor de fier prin afinarea fontei.

In 1862—1864 s-au construit la Reşiţa şi la Anina două cocserii, care au utilizat huilele din zăcămintele de la Anina, Domani şi Secul. De altfel primele experimentări de cocsificare a acestor huile amintite în literatură [6] s-au efectuat înainte de 1858 tocmai în legătură cu aceste construcţii şi anume la cuptorul de cocs amenajat special în faţa galeriei Gabriel din Valea Aninei, pentru a determina cocsificabilitatea cărbunelui mărunt nevalorificat înainte. Pe baza rezultatelor obţinute s-a început construirea uzinelor de fier din Anina, în mai 1858.

Tot la jumătatea secolului trecut, la Uricani, se fac primele cercetări asupra cocsificabilităţii cărbunilor din Valea Jiului, în bocşe, obţinîndu-se rezultate pozitive. Experimentările au fost reluate apoi pe scară mai largă la Reşiţa, Witcoviţe, Dortmund şi Gliwice.

Primele cercetări româneşti în domeniul metalografiei au fost făcute la începutul secolului nostru de C. Nicolescu Otin, care a utilizat analiza termică, abia apărută, la studiul cristalizării şi transformărilor în stare topită a silicaţilor de cupru şi apoi de bismut [7]. Acelaşi autor prezintă Academiei Române la 5 aprilie 1913 o lucrare de proporţii mari (76 p.+6 planşe cu microstructuri), intitulată *Contribuţii la metalurgia antică a cuprului în ţările locuite azi de români* [8]. Ea cuprinde studiul unor obiecte din aliaje cu cupru descoperite pe teritoriul ţării noastre, care permite să se stabilească existenţa a două mari centre metalurgice vechi: unul la Baia de Aramă (Oltenia) şi celălalt în Transilvania. Autorul precizează că „toate obiectele găsite în Ungaria, Croaţia şi Serbia au fost confecţionate în Transilvania".

Incă înaintea acestor lucrări, metodele metalografice au fost folosite pentru controlul producţiei la uzinele din Reşiţa, al căror laborator a funcţionat mai întîi la Oraviţa, iar în 1880 a fost mutat la Reşiţa. Tot aici au

fost executate și primele determinări de proprietăți mecanice în sala de încercări fizice, care exista încă dinainte de 1848 pe lîngă fabrica de tunuri [2]—[4].

În vederea controlului oțelului moale, folosit pentru prima dată ca material de construcție de inginerul român Anghel Saligny pentru podul de la Cernavodă, în cadrul fostei Școli de poduri și șosele, azi Institutul politehnic „Gheorghe Gheorghiu-Dej" din București, s-a înființat (în 1890) un laborator de încercări dotat cu o mașină de 70 t forță, tip Werder.

Un laborator similar este înființat în 1923 în cadrul Politehnicii din Timișoara, prin eforturile eminenților oameni de știință și profesori Traian Lalescu și C. C. Teodorescu [9].

În perioada următoare începe aplicarea metodelor metalografice și a încercărilor fizico-mecanice pentru controlul calității producției la Uzinele de fier din Hunedoara.

În aceiași ani, în furnalul de la Găvăjdia, D. Perieteanu conduce primele încercări din lume de introducere a păcurii în furnal, în vederea economisirii cocsului [10], [11]. De remarcat sînt de asemenea cercetările de reducere directă a minereurilor cu ajutorul gazului metan, efectuate în 1932—1933 de D. Briscan [12] și în 1936 de M. Constantinescu și G. Vulpescu [13]. Deși valoroase, lucrările de cercetare făcute înainte de 23 August 1944 de diferite colective din cadrul școlilor politehnice din București și Timișoara au pătruns cu greu în uzine și reușita unora dintre ele se datorează numai stăduinței personale a conducătorilor colectivelor respective.

După naționalizarea industriei, în 1948, o dată cu dezvoltarea în ritm rapid a industriei, cercetările în domeniul metalurgiei au luat un avînt deosebit. Sprijinindu-se pe colaborarea unor colective largi din uzine și folosind condițiile create de partid și de guvern, Institutul de cercetări metalurgice (ICEM), sectorul de metalurgie al metalelor neferoase de la ICECHIM și sectorul de preparare a minereurilor din ICEMIN sînt principalele unități create de regimul socialist care, în colaborare cu catedrele de specialitate, au adus un aport prețios la ridicarea nivelului tehnic al metalurgiei prin volumul mereu crescut al lucrărilor de cercetare fundamentală și aplicată, executate în ultimele două decenii. De altfel și în cadrul institutelor politehnice din București, Timișoara, Cluj, Iași și Brașov s-au efectuat în acești ani importante cercetări privind metalurgia fizică și extractivă, metalurgia pulberilor, studii și cercetări de rezistență și încercări a metalelor, cu contribuție directă la dezvoltarea industriei, la fel ca la Centrul de cercetări metalurgice al Academiei Republicii Socialiste România, care apoi a fost contopit cu ICEM.

## ÎNFIINȚAREA ȘI ORGANIZAREA INSTITUTULUI DE CERCETĂRI METALURGICE

Institutul de cercetări metalurgice a fost înființat în anul 1950 și funcționează ca institut departamental în cadrul Ministerului Industriei Metalurgice.

Crearea institutului a fost o consecință a cerințelor tot mai mari ale industriei metalurgice, în continuă dezvoltare, în ceea ce privește diversitatea și îmbunătățirea calității produselor.

Începutul activității s-a făcut sub denumirea de ICEPROM, majoritatea crecetărilor executîndu-se în cadrul laboratoarelor de specialitate din cadrul Institutului politehnic din București.

Pornind cu un nucleu de cercetare pe o bază materială modestă, în decursul anilor institutul s-a dezvoltat atît ca personal de cercetare cît și ca aparatură.

Începînd din 1961 institutul are un profil bine stabilit, activitatea sa fiind axată pe rezolvarea problemelor de progres tehnic în domeniul metalurgiei fontelor, oțelurilor, aliajelor neferoase, prelucrării plastice a metalelor, metalurgiei pulberilor, materialelor refractare, cocsului, produselor cărbunoase și semicocsului.

Prin aplicarea rezultatelor în producție se urmărește îmbunătățirea calității produselor, asimilarea de produse și tehnologii noi, reducerea consumurilor specifice, lărgirea bazei de materii prime a siderurgiei, îmbunătățirea indicatorilor tehnici-economici ai principalelor agregate din industria metalurgică etc.

În perioada 1961—1965 institutul a avut și o activitate teoretic fundamentală, dar îndeosebi a rezolvat probleme cu caracter aplicativ, acestea din urmă căpătînd o pondere din ce în ce mai mare prin întărirea colaborării dintre institut și unitățile productive.

Sarcinile de plan ale institutului se ridică anual la circa 70 de probleme plan de stat, departamental și standarde, ale căror rezultate sînt aplicate în producție.

Un pas înainte pe linia introducerii operative în producție a rezultatelor cercetării, s-a dovedit a fi rezolvarea pe bază de contract cu unitățile productive a unor probleme necesitate de producție.

Se menționează că numărul contractelor de cercetare rezolvate de institut a crescut de la 58 în 1964 la 92 în 1965 iar în 1966 au fost încheiate 95 de contracte.

Pentru realizarea unor sarcini de mare complexitate, în ultima perioadă au fost reorganizate unele colective din cadrul institutului și s-au creat noi secții de cercetare.

Pe această linie, în momentul de față activitatea de cercetare în institut este efectuată în cadrul a 13 secții și laboratoare independente, și anume : secția fonte, turnătorie, reducere directă ; secția oțeluri, metalurgie fizică, tratamente termice ; secția deformări plastice ; secția utilizarea rațională a oțelurilor ; secția aliaje-coroziune ; secția materiale refractare ; laboratorul cocs și produse cărbunoase ; laboratorul semicarbonizare ; laboratorul metalurgia pulberilor ; laboratorul termotehnică metalurgică ; secția analizele chimice ; secția tehnica măsurării și izotopi radioactivi ; secția cercetări matematice și economice.

În ceea ce privește sarcinile de plan ale institutului pe perioada 1966—1970, acestea sînt cuprinse în programul unitar întocmit de Consiliul Național al Cercetării Științifice și sînt axate pe următoarele direcții de cercetare :

a) asimilarea de noi mărci de oțeluri aliate și aliaje cu caracteristici superioare ;

b) îmbunătățirea calității produselor metalurgice, refractare și cărbunoase ;

c) intensificarea proceselor siderurgice și reducerea consumurilor specifice ;

d) valorificarea superioară și lărgirea bazei de materii pentru siderurgie ;

e) introducerea de noi metode de cercetare și controlul în metalurgie.

De asemeni, în perioada 1966—1970, în cadrul ICEM, se vor aborda și rezolva unele probleme cu caracter fundamental care să asigure creșterea nivelului științific și eficiența soluțiilor stabilite de cercetători.

## CERCETĂRI IN DOMENIUL FONTELOR ȘI FEROALIAJELOR

Cercetările efectuate în cadrul secției fonte și feroaliaje s-au orientat în principal asupra următoarelor mari domenii : lărgirea bazei de materii prime pentru elaborarea fontelor și feroaliajelor și îmbunătățirea pe baze științifice a principalelor produse siderurgice din fontă : lingotiere, cilindri de laminor și fonte brute pentru turnătorie și fonte de a doua fuziune. Una dintre principalele probleme cercetate din domeniul lărgirii bazei de materii prime a fost aceea a obținerii directe a fierului, a minereului de fier sub formă de burete de fier, în vederea utilizării lui la elaborarea fontei în furnal sau la elaborarea oțelului de calitate în cuptorul electric. În acest scop s-au studiat și definitivat tehnologia de reducere directă a minereurilor de fier cu ajutorul gazelor rezultate din conversia metanului cu aer, vapori de apă și bioxid de carbon în cuptoare basculante sau cu cuvă fixă [14]—[21].

Pentru fundamentarea acestei lucrări s-au studiat particularitățile termodinamice și cinetice ale procesului de reducere directă [22].

Rezultatele cercetărilor au condus la precizarea unor aspecte teoretice ale proceselor de reducere cu gaze ($CO+H_2$), rezultate din conversia metanului. Astfel s-au putut stabili condițiile pentru regenerarea gazelor utilizate în procesul de reducere. Pe aceeași linie s-au întreprins cercetări în cadrul Centrului de cercetări al Academiei Republicii Socialiste România [23], [24] și al Institutului politehnic, Cluj [25].

Cercetările privind valorificarea fierului din minereurile sărace și silicioase sub formă de lupe [23] și valorificarea W, V, Ti, Mo, Mn, Cr și Si din minereuri și concentrate indigene sub formă de feroaliaje [27]—[34] au condus la stabilirea unor tehnologii corespunzătoare de valorificare a acestor elemente, care pot sta la baza organizării unei industrii proprii de feroaliaje.

Valorificarea fierului din cenușile de pirită constituie una dintre cele mai importante probleme de cercetare sub aspect economic, ținînd seama de cantitățile mari și disponibile de cenuși de pirită care în prezent nu sînt valorificate.

În acest domeniu, cercetările efectuate în ultimul timp [26] au arătat posibilitatea folosirii acestor materiale sub formă de pelete sau aglomerat la elaborarea fontei în furnal.

Rezultatele obținute în domeniul cercetării îmbunătățirii calității fontelor destinate turnării lingotierelor, precum și ale fontelor și oțelurilor pentru cilindrii de laminor, s-au concretizat prin stabilirea unor tehnologii care au făcut posibilă micșorarea pronunțată a consumurilor specifice și reducerea substanțială a importurilor. Prin stabilirea unor tehnologii noi de îmbunătățire a calității fontelor brute (tratate în stare lichidă cu gaz metan) s-a reușit să se influențeze pozitiv și calitatea fontelor de a doua fuziune [35]—[46].

În domeniul reducerii consumului specific de cocs la elaborarea fontei în furnal, cercetările s-au orientat către înlocuirea lui cu alți combustibili mai ieftini și mai ușor de procurat [47]—[49].

În legătură cu procesele din furnal s-au făcut de asemenea cercetări în Institutul politehnic din București.

Ținînd seama de condițiile țării noastre, cercetările au fost axate în special către folosirea gazului metan. În urma rezultatelor obținute la experimentările industriale de insuflare a gazului metan în furnal, la noi în țară s-a trecut la generalizarea folosirii acestuia la toate furnalele, noi fiind prima țară din lume la care toate furnalele funcționează cu insuflare de gaz metan.

## CERCETĂRI ÎN DOMENIILE ELABORĂRII, DEFORMĂRII PLASTICE ȘI UTILIZĂRII OȚELURILOR ALIATE ȘI DE CALITATE

Cercetările efectuate în domeniul îmbunătățirii și extinderii gamei de oțeluri și produse laminate au urmărit aspecte complexe care să conducă la punerea la dispoziția beneficiarilor a unor produse siderurgice de calitate, capabile să răspundă scopului pentru care au fost create. Ca urmare, cercetările privind producerea (elaborarea, deformarea plastică și tratamentul termic) au fost corelate cu cercetări privind cunoașterea multilaterală și completă atît a proprietăților de rezistență, cît și a celor tehnologice ale noilor oțeluri studiate.

Cercetările pentru elaborarea de oțeluri aliate și de calitate s-au axat pe următoarele direcții principale :

*a)* cercetări pentru crearea și asimilarea unor mărci noi de oțeluri, cu destinație precizată ;

*b)* cercetări în vederea asimilării unor procedee tehnologice noi de producere a oțelurilor și perfecționare a celor existente.

Răspunzînd solicitărilor constructorilor de utilaj petrolier și locomotive diesel-electrice, au fost create două mărci de oțel de cementare aliate cu crom,

nichel, molibden (18MoCNo6; 18MoCN13) [50]—[52], precum și un oțel refractar cu 12% Cr, care poate funcționa la temperaturi pînă la 600 °C [53]—[56]. În același timp s-au întreprins cercetări pentru asimilarea proceselor de elaborare, deformare plastică și tratament termic a unor oțeluri corespunzătoare mărcilor existente în străinătate (21TMC12; 23SM15; 39TMC12; 40C10B; inoxidabil Cr-Mn-Ni-N) [56]—[67]. Legat de asimilarea oțelurilor cu bor s-au făcut cercetări sistematice privind influența borului asupra unor caracteristici fizico-mecanice și tehnologice ale oțelurilor, precum și tehnologia de aliere cu bor. În privința fabricației oțelurilor inoxidabile de tipul Cr-Mn-Ni-N, cercetările efectuate s-au înscris pe linia eforturilor colective a cercetării metalurgice de caracterizare a comportării și tehnologiei de fabricare a acestor oțeluri.

Multe dintre mărcile de oțel cercetate au intrat în producția curentă a combinatelor siderurgice la nivel de mii de tone anual (18MoCN13, 40C10B etc.).

Pentru cunoașterea procesului de elaborare a oțelurilor în convertizorul cu oxigen, au fost făcute cercetări într-un convertizor de 2 t în scopul studierii tehnologiei de elaborare a oțelurilor carbon calmate și necalmate, a oțelurilor slab aliate, precum și pentru stabilirea influenței procedeului asupra proprietăților oțelurilor [68]—[71].

Pe linia îmbunătățirii proprietăților unor oțeluri speciale au fost cercetate procedeele moderne de retopire și de solidificare a oțelului în cristalizoare (retopire cu arc în vid) [72]—[73] și retopire electrică sub zgură [74], stabilindu-se posibilitatea unor creșteri importante ale purității și omogenității oțelurilor de rulmenți și refractare cu 12% Cr.

Un alt domeniu de preocupări a cuprins perfecționarea proceselor tehnologice existente de fabricație a unor produse siderurgice.

La fabricarea discurilor și bandajelor s-au adus perfecționări în elaborarea și turnarea lingourilor, îmbunătățiri ale configurației lingoului, în vederea reducerii crăpăturilor, stabilirea regimurilor optime de încălzire pentru laminare și a procesului de tratament termic [75]. La producerea oțelului pentru osii de vagoane s-au adus îmbunătățiri parametrilor tehnologici de elaborare și turnare, avînd ca urmare reducerea substanțială a impurificării oțelului cu incluziuni nemetalice [76]—[77].

Cercetările privind îmbunătățirea calității oțelurilor de material rulant se caracterizează printr-o eficiență economică ridicată, care atinge șase milioane de lei anual.

Cercetările în domeniul deformării plastice se ocupă cu probleme legate de tehnologia de fabricare a produselor siderurgice plate (table groase, table subțiri și benzi, simple și placate), a produselor siderurgice profilate (blumuri, brame, țagle și profile laminate), precum și cu executarea de măsurători privind principalii parametri de laminare.

Primele cercetări în domeniul deformației plastice a metalelor s-au efectuat în cadrul Centrului de cercetări metalurgice [78]—[81], sau a unor lucrări de dizertație [82], [83]. Ele tratau probleme legate în special de

studierea principalilor factori ai laminării și de particularitățile tehnologice de comportare a unor oțeluri speciale.

Cercetările pentru produse trefilate, trase și țevi se ocupă cu problemele privind tehnologia de fabricare prin trefilare a sîrmelor rotunde de înaltă rezistență din oțel, precum și cu fabricarea unor produse din sîrmă cum sînt cablurile din oțel, cu probleme legate de tehnologia de fabricare a țevilor și barelor trase la rece și de fabricare a produselor tubulare simple sau placate.

Secția de deformări plastice s-a ocupat de o serie de probleme legate de fabricarea tablelor la noi în țară. Astfel s-au întreprins cercetări privind ameliorarea calității tablelor silicioase, pentru dinam și transformator, fabricate prin laminarea la cald [84]—[86], îmbunătățirea condițiilor de recoacere a tablelor subțiri [87]—[90], îmbunătățirea calității tablelor decapate [91]—[92], problema acoperirilor de protecție anticorosivă a tablelor [93]—[95]. S-au făcut și cercetări pentru fabricarea unor produse noi, cum sînt tablele groase și benzile din oțel inoxidabil și tablele groase din oțel carbon placate cu oțel inoxidabil [96]—[99].

În domeniul produselor profilate din oțel, cercetările s-au axat pe procedee noi de obținere și îmbunătățire a calității lor (obținerea profilelor din oțel prin extruziune la cald [100], reducerea grosimii stratului decarburat la profile din oțel pentru arcuri și deformarea la cald în bare rotunde a oțelului pentru supape de autocamion [101]). S-au făcut de asemenea cercetări care au condus la introducerea în fabricație a profilelor economice [102].

Măsurarea parametrilor energetici și de forță la laminoare pentru punerea în evidență a unor rezerve de productivitate s-au făcut în colaborare cu secția utilizarea oțelurilor, la două laminoare de tablă subțire [103], la un laminor de platine [104], la un laminor cvarto pentru benzi la rece [105], la două laminoare de profile ușoare precum și la un bluming. Rezultatele acestor măsurători au fost folosite în proiectare precum și de uzinele beneficiare.

În ultimii doi ani s-au făcut cercetări de laborator pentru determinarea deformabilității la cald a oțelurilor [106]—[107], refulare, răsucire la cald și întindere la cald.

Secția a făcut cercetări și în domeniul produselor trefilate. Unele dintre aceste cercetări au avut ca scop îmbunătățirea calității sîrmelor destinate fabricării cablurilor din oțel [108], [109]. Unele cercetări întreprinse [110]—[113] au permis mărirea durabilității cablurilor folosite în industria minieră și industria petrolului prin îmbunătățirea tipurilor de cabluri existente și introducerea de noi tipuri de cabluri, precum și prin extinderea utilizării cablurilor cu contact liniar. Tot în cadrul produselor de sîrmă s-a studiat și s-a experimentat, fabricarea în țară a toroanelor și cablurilor pentru beton precomprimat.

În domeniul produselor tubulare s-au făcut cercetări prin care s-a stabilit tehnologia de fabricare a țevilor din oțel carbon placate cu oțel inoxidabil [96]—[97], [114]—[117] sau cu alamă ; de asemenea s-a pus la punct fabricarea în țară a țevilor din oțel inoxidabil [118]—[120].

Cercetările întreprinse pînă în prezent în legătură cu fabricația țevilor pentru forajul adînc au permis să se stabilească calitățile de oțel, tratamentele termice, condițiile de fabricare și performanțele realizabile la unele sortimente de material tubular.

Necesitatea îmbunătățirii calității produselor siderurgice precum și crearea și asimilarea de noi mărci cu domenii specifice de utilizare, impun cunoașterea cît mai completă a caracteristicilor fizice-mecanice ale oțelurilor și a corelației lor cu microstructura. Cercetările efectuate în institut pe această linie au fost îndreptate spre cunoașterea comportării unor oțeluri la temperaturi ridicate de exploatare, în condițiile unor solicitări deosebite (fluaj, oboseală, șoc la temperaturi joase). În paralel au fost efectuate cercetări în vederea cunoașterii amănunțite a microstructurii oțelurilor în diferite stări, precum și a unor modificări structurale care au loc în cursul exploatării acestora în condiții de fluaj la temperaturi ridicate.

Atenția acordată stabilirii caracteristicilor mecanice în condiții speciale de solicitare a fost determinată de necesitatea utilizării tot mai largi a unor oțeluri produse în țara noastră la temperaturi ridicate la care se produc procese de fluaj. În această direcție, s-au efectuat cercetări asupra metodelor de determinare a caracteristicilor de fluaj, aducîndu-se contribuții originale în legătură cu metodica de extrapolare pentru durate lungi de exploatare a unor date obținute prin încercări de durată limitate, [126], [127], [129], [140]—[142].

În cadrul laboratoarelor institutului s-au efectuat largi cercetări asupra caracteristicilor de fluaj ale unor oțeluri puse la punct de ICEM [135], [141], [149] stabilindu-se domeniile de utilizare la cald a acestora.

Pentru stabilirea posibilităților de utilizare a unor oțeluri din instalații lucrînd la temperaturi înalte (rafinării, centrale) și corelarea acestor caracteristici cu modificările în structură, au fost efectuate cercetări complexe, care au permis fundamentarea științifică a indicațiilor privind utilizarea rațională a acestor oțeluri [143], [148]. În acest scop, în institut a fost pusă la punct metoda analizei roentgenostructurale a carburilor separate electrolic din oțelurile termostabile [185]—[186].

În cercetările efectuate în direcția cunoașterii proprietăților fizico-mecanice ale oțelurilor au fost studiate și caracteristicile de tracțiune la cald ale unor oțeluri, fiind rezolvate cu această ocazie unele aspecte fundamentale ale metodicii de încercare [133], [134], [136], [187], [191].

Modificările structurale care au loc în oțeluri în cursul tratamentelor termice influențează considerabil complexul de caracteristici fizico-mecanice ale acestora și corelarea dintre aceste aspecte constituie calea științifică de îmbunătățire a capacității de rezistență a oțelului. Pentru analiza acestei corelații au fost efectuate lucrări sistematice asupra modificărilor structurale care ar putea avea loc în oțeluri la aplicarea diferitelor tehnologii de prelucrare la cald a acestora [153], [156]—[159], [160]—[164], [166]—[172], [173]—[175], [177]—[180], [182].

Pentru utilizarea la maximum a rezervei de rezistență a unor instalații de laminare din combinatele și uzinele siderurgice a fost pusă la punct în institut metoda cercetărilor tensometrice cu diferiți traductori [132]. Folosindu-se această metodă, au fost efectuate cercetări pentru stabilirea parametrilor electrici și de forță a unor laminoare, care au permis exploatarea cu randament mai ridicat a acestora [130], [131].

Realizările mai importante ale Institutului de cercetări metalurgice în domeniul coroziunii metalelor se referă la studiile efectuate asupra unor oțeluri inoxidabile și a oțelurilor nealiate, care au condus la stabilirea domeniilor de utilizare ale acestora.

Astfel, colectivul de coroziune, în strînsă colaborare cu secțiile oțeluri și deformări plastice, fac cunoscute în țară, pentru prima dată, oțeluri inoxidabile de tip Cr—Mn—Ni—N [192].

Ca urmare a cercetărilor efectuate în laborator, în anul 1966 a fost posibilă experimentarea cu succes a acestor oțeluri în industria acidului azotic în țara noastră.

Mergînd tot pe linia indicațiilor documentelor de partid de asimilare a oțelurilor aliate și înalt aliate, institutul a studiat posibilitatea utilizării oțelurilor inoxidabile feritice foarte puțin folosite în țară (numai din import) și a stabilit că aceste oțeluri au o foarte bună rezistență la coroziune în condiții în care în prezent sînt folosite oțeluri inoxidabile austenitice, cu mult mai scumpe [193].

Aspectele multiple pe care le ridică coroziunea metalelor au impus studierea atît a fenomenelor care au loc la suprafața oțelurilor, cît și a celor mai intime care se referă la structura acestora.

Printre primele lucrări din țară efectuate în ICEM, sînt cele referitoare la coroziunea fisurantă sub sarcină a oțelurilor inoxidabile.

Lucrările și rezultatele cu implicații teoretice obținute se înscriu în linia preocupărilor din acest domeniu pe plan mondial.

## CERCETĂRI IN DOMENIUL FABRICARII COCSULUI METALURGIC, SEMICOCSULUI ȘI MATERIALELOR REFRACTARE PENTRU SIDERURGIE

Pornind de la studiile efectuate încă înainte de cel de-al doilea război mondial de către prof. dr. docent ing. I. Blum cu privire la folosirea la cocsificare a huilelor de Lupeni, lucrările cercetătorilor din institutele departamentale și din Uzina cocso-chimică de la Hunedoara au permis realizarea la această uzină a unui cocs de calitate superioară, care din punctul de vedere al caracteristicilor fizice este comparabilă cu cele mai bune cocsuri din import, deși șarja cuprinde circa 50% huile de gaz [194]—[214]. Realizarea cocseriei de la Hunedoara, pe baza șarjelor folosind huile de gaz, a ridicat necesitatea fabricării semicocsului degresant. Cercetările pilot și semiindustriale întreprinse în 1954—1956 s-au concretizat în aplicarea industrială a procedeului pentru fabricarea semicocsului prin fluidizare, prin darea în func-

țiune în 1957—1958 a instalației „Carbofluid" Călan, prima instalație industrială de acest gen în Europa [215]—[223].

Studii ulterioare [224]—[227] au dus la îmbunătățirea instalației și la continuarea posibilităților de valorificare a subproduselor de valorificare a semicocsului prin fluidizare.

În perioada 1962—1966 s-a cercetat de asemenea fabricarea cocsului mărunt ca înlocuitor al cocsului clasic la aglomerarea minereurilor [228], rezultatele fiind în curs de definitivare la scară industrială.

În legătură cu valorificarea subproduselor de la fabricarea semicocsului și cocsului mărunt prin fluidizare, se preconizează valorificarea energetică, în sensul realizării unei termocentrale alimentată cu gaze brute.

Prin cercetările efectuate de către un colectiv din cadrul Institutului de cercetări metalurgice a fost elaborat un proces tehnologic original, care constituie o invenție românească, pe baza căreia se pot produce din diverse materii prime, cocs-brichete pentru furnale, turnătorie sau alte utilizări speciale (anozi, electrozi) [229]—[252].

Rezultatele obținute la încercarea de durată a cocsului brichete ICEM, într-un furnal de 700 m$^3$, au arătat că acesta poate înlocui cocsul clasic la o echivalență de 1 : 1 într-o proporție de minimum 30% din șarja de cocs a furnalului. Indicii tehnici-economici realizați la furnal și volumul util al furnalului în care s-a folosit cocs brichete situează realizările cercetătorilor români printre primele locuri pe plan mondial atît din punctul de vedere al nivelului calitativ atins de cocsul brichete, cît și în ceea ce privește conducerea furnalelor lucrînd cu noi tipuri de cocs [253]—[257].

O altă realizare în acest domeniu a fost producerea de materiale combustibile neaglutinate, a unui cocs brichete cu conținut redus de cenușe și sulf, care poate folosi cu succes la cubilouri și la fabricarea electrozilor siderurgici a masei pentru electrozi Söderberg și a altor materiale cărbunoase [258], [259].

În ceea ce privește cercetarea în domeniul refractarelor pentru siderurgie, aceasta a cuprins atît aspecte fundamentale, cît și probleme aplicative a căror rezolvare a permis lărgirea bazei de materii prime, dezvoltarea industriei de materiale refractare (argile, dolomite, nisipuri etc.) introducerea de produse noi și extinderea sortimentului de produse [260]—[263].

În ceea ce privește elaborarea de procedee tehnologice noi, se menționează șamotizarea în cuptor rotativ, care s-a arătat cea mai avantajoasă atît din punct de vedere calitativ, cît și economic, și, pe această bază, printre primele țări din lume care au aplicat acest procedeu este și țara noastră.

A fost de asemenea însușit procedeul semiuscat, care prezintă avantaje față de procedeul umed și care a fost aplicat la fabricarea produselor refractare normale și speciale, ca produse de turnare [264], tubulare, dopuri pentru căldarea de turnare, orificii.

Printr-un nou procedeu de preparare a maselor silica, care reprezintă o contribuție originală a specialiștilor români în acest domeniu, s-a obținut o calitate superioară a cărămizilor silica și s-au îmbunătățit condițiile de

muncă în halele de fabricație, unde pînă atunci rezulta cel mai ridicat procent de îmbolnăviri de silicoză [265].

A fost elaborat un proces tehnologic nou de fabricare a dolomitei metalurgice în cuptor rotativ. Acest procedeu, aplicat la fabrica de dolomită metalurgică de la Zlești, prezintă o serie de avantaje.

Dintre produsele noi realizate pe baza cercetărilor pot fi menționate următoarele :

Dolomita stabilizată este produsul refractar obținut prin fixarea CaO liber în compuși refractari (silicați bi- și tricalcici) și stabilizarea silicatului bicalcic cu $P_2O_5$ din făina de oase [267]—[269].

S-au realizat în cuptor rotativ șamote aluminoase cu conținut ridicat de $Al_2O_3$ (45—60%) printr-un nou procedeu, care reprezintă o realizare deosebită a cercetătorilor români.

Șamotele înnobilate au satisfăcut necesitățile de refractare pentru construirea noilor agregate siderurgice (furnale, caupere, cuptoare Martin, cu propulsie, adînci) [273]—[275].

S-a pus la punct fabricația industrială a unor betoane refractare cu utilizări pînă la temperatura de 1 200 °C, în vederea înlocuirii cărămizilor fasonate clasice cu mase refractare monolitice. Pentru extinderea utilizării maselor monolitice în țara noastră, cercetătorii s-au preocupat și de realizarea unor sortimente superioare de cimenturi și mase refractare care să reziste pînă la temperatura de 1 700 °C. Aceasta permite eliminarea treptată a importului materialelor similare necesitate de noile industrii în plină dezvoltare.

În vederea lărgirii sortimentelor de produse de ceramică refractară s-a cercetat obținerea prin metoda turnării sub presiune în stare termoplastică și prin extrudere a tecilor pentru termocuple, a creuzetelor tip „alund", a nacelelor pentru combustie și a mărgelelor de izolație care să reziste de asemenea pînă la temperatura de 1 800 °C [275].

În scopul reducerii pierderilor de căldură la agregatele termice s-a cercetat și s-a pus la punct tehnologia de fabricare a produselor refractare izolatoare, pe bază de materii prime silico-aluminioase existente în țară [276]. Pe această bază s-a proiectat și este în curs de construire o secție de fabricare a acestor produse la fabrica de produse refractare Alba-Iulia.

O altă preocupare a cercetătorilor în domeniul refractarelor a fost realizarea unui nou produs pulverulent cu acțiune complexă de lubrifiere a lingotierelor, de micșorare a retasurii lingourilor și de reducere a rebuturilor datorită aspectului exterior și a incluziunilor nemetalice din oțel. Noul produs românesc denumit „termicem", este competitiv cu cele mai bune produse similare pe piață mondială, înlocuind în totul aceste produse în oțelăriile din țara noastră. Prin realizarea noului produs se obține o puritate mai mare a oțelului, reducerea substanțială a rebuturilor, și creșterea scoaterii de oțel cu circa 50 kg oțel bun pe tona de oțel laminat. Economiile estimate prin folosirea în oțelării a acestui material la nivelul anului 1970 se apreciază la circa 70 000 000 de lei/an [277].

## CERCETĂRI PRIVIND FOLOSIREA IZOTOPILOR RADIOACTIVI, A METODELOR MATEMATICE ȘI A UNOR NOI METODE DE ANALIZĂ CHIMICĂ IN INDUSTRIA METALURGICĂ

O mare atenție a fost acordată metodelor de determinare a comportării materialelor refractare și a influenței pe care acestea o au asupra calității oțelului. Cercetările efectuate au permis elaborarea unei metode pentru determinarea incluziunilor nemetalice exogene din oțel [278], a unei metode pentru studiul uzurii blocurilor de dolomită stabilizată în convertizoarele cu oxigen etc.

Au fost elaborate, de asemenea, metode de determinare a timpului de trecere sau de staționare a materialelor în diferite instalații [279].

Tot cu ajutorul izotopilor radioactivi s-a determinat timpul optim de omogenizare în instalațiile de amestecare a materiilor prime [280], s-au obținut date noi privitoare la solidificarea lingourilor din aliaje de aluminiu [281] etc.

Un alt domeniu de preocupări a fost controlul și automatizarea proceselor de încărcare și descărcare cu ajutorul radioizotopilor [282]—[284].

Vasta acțiune de introducere a matematicii în economie, în cercetarea și analiza economică, în planificare și în statistică și-a găsit exprimarea în ICEM prin înființarea unei secții de cercetări matematice.

Această secție a abordat o serie de probleme legate de aplicarea metodelor matematice, ca : metoda de corelație și regresie, metoda polinoamelor ortogonale, metoda drumului critic, metoda Monte-Carlo, metode matriceale în planificarea întreprinderilor siderurgice, ceea ce a permis rezolvarea unor modele matematice ale proceselor tehnologice și economice. Astfel, pentru determinarea metodologiei de întocmire a planului la un combinat siderurgic s-a folosit metoda matriceală cu utilizarea calculatorului electronic. Secția s-a orientat de asemenea spre modelarea proceselor economice de aprovizionare, rezolvînd probleme de stocuri de materii prime, semifabricate și piese de schimb pentru industria siderurgică. Pentru aceasta s-au folosit metode matematice dintre cele mai moderne : metoda Monte-Carlo, a polinoamelor ortogonale etc.

S-a studiat pentru Combinatul siderurgic Hunedoara o problemă legată de folosirea la maximum a căldurii de turnare a lingourilor. Prin metoda Pert, precum și printr-o analiză tehnică-economică, s-au determinat măsurile pentru îmbunătățirea transportului de lingouri de la oțelăria Martin la cuptoarele adînci de la bluming.

Pe linia îmbunătățirii controlului produselor și proceselor metalurgice, în strînsă legătură cu cercetările efectuate de sectoarele tehnologice din institut, a apărut necesitatea rezolvării și a unor probleme de natură analitică, concretizate în punerea la punct sau adaptarea de noi metode de analiză a materiilor prime, auxiliare și a produselor din metalurgie.

Cercetările de chimie analitică s-au orientat în primul rînd spre determinarea unor elemente care în urma cercetărilor tehnologice stau la baza unor tipuri noi de materiale sau a căror influență nu se urmărea. Astfel au fost, de exemplu, metodele pentru determinarea B, Nb, As, Ce, din oțeluri; Na, P, Be, din aliaje neferoase; Te, Se, Bi, Sn, Sb, Ca, din fonte; Ge, Ti, Ga din subproduse ale industriei neferoase etc. [285]—[297].

O altă preocupare a cercetării analitice a constat în introducerea de metode instrumentale care să asigure o reducere substanțială a timpului de lucru, concomitent cu mărirea preciziei rezultatelor și cu extinderea posibilităților de determinare în domeniul concentrațiilor mici, la care metodele pur chimice nu dau satisfacție. Acesta este cazul metodelor spectrale, a metodelor polarografice, spectrofotometrice, potențiometrice [299].

De asemenea, în atenția institutului a stat problema determinării gazelor (H, O, N) și a incluziunilor nemetalice din oțeluri, problemă strîns legată de calitatea produselor [300]—[303].

Este de menționat faptul că mare parte din activitatea de cercetare în domeniul analitic s-a concretizat și în elaborarea de către ICEM a majorității standardelor existente în prezent pentru metodele de analiză la produsele siderurgice.

## CERCETARI IN DOMENIUL TERMOTEHNICII METALURGICE

Sarcinile însemnate privind gospodărirea rațională a energiei în industria siderurgică au determinat înființarea în cadrul ICEM a unui laborator de cercetări termotehnice pentru această industrie.

Ținînd seama de aceste sarcini, laboratorul și-a axat lucrările pe următoarele direcții:

— Analizarea marilor consumatori de căldură în vederea stabilirii locurilor și cauzelor consumurilor exagerate de căldură, precum și determinarea cantităților de căldură recuperabile. S-au analizat astfel periodic bilanțurile termice efectuate la majoritatea consumatorilor de căldură din industria siderurgică, indicîndu-se soluții complexe de recuperare [304]—[308];

— Studierea posibilităților de reducere a consumurilor specifice de căldură în general și a celui de păcură în special, la cuptoarele Siemens-Martin. Astfel s-au făcut experimentări și cercetări privind analiza comparativă a unor arzătoare de diferite tipuri (CSR, CSH, UOR, ICEM). S-au cercetat arzătoarele cu gaz metan—păcură cu carburare externă și autocarburarea flacării în vederea măririi luminozității flacării și a reducerii cotei de păcură [308], [309]. Experimentările s-au făcut pe o instalație experimentală (stand) la ICEM și pe diferite cuptoare Siemens-Martin din uzine;

— Determinarea de regimuri termice optime pentru diferite mărimi de cuptoare Siemens-Martin din țară;

— Reducerea consumului de energie electrică la cuptoarele electrice cu arc de elaborare a oțelului, prin folosirea de arzătoare oxigaz. S-au proiectat

și s-au experimentat astfel de arzătoare, determinîndu-se date pentru proiectare și rezultatele ce se pot obține prin folosirea acestora ;

— Măsurări de parametri în condiții speciale [306];

— Construirea de arzătoare oxigaz de debite mari, în vederea intensificării proceselor de topire, ca de exemplu al fontei.

— Construirea de aparate termotehnice specifice ; s-au construit astfel : un termocuplu cu aspirația gazului de ardere, un aparat pentru prelevarea de gaze arse răcit prin vaporizare etc. ;

— Optimizarea arderii în cuptoarele de încălzire cu scopul măririi productivității și reducerii consumului specific de combustibil. Experimentarea s-a făcut pe standul ICEM ;

— Stabilirea de tipuri de arzătoare cu gaz metan pentru cuptoarele siderurgice.

## ACTIVITATEA DE INFORMARE A INSTITUTULUI

Pe lîngă urmărirea aplicării în producție a lucrărilor de cercetare efectuate de cercetători în domeniul metalurgiei, activitate și obiectiv de bază a întregii munci de cercetare, muncă ce a fost întregită și cu o serie întreagă de lucrări privind lămurirea unor aspecte teoretice cu caracter fundamental, apărute în decursul activității de cercetare depuse, activitatea și munca efectuată de cercetători în domeniul metalurgiei s-au reflectat și în comunicările prezentate în cadrul sesiunilor științifice ale Institutului de cercetări metalurgice, precum și în intensa activitate de publicații depusă.

Sesiunile științifice organizate de către ICEM începînd din 1957 s-au bucurat de participarea specialiștilor din țară și din străinătate care lucrează în diferite domenii ale metalurgiei și au contribuit la lămurirea problemelor prezentate prin lucrări și discuții ample. Sesiunile științifice ICEM au permis să se treacă în revistă contribuțiile cercetătorilor din institut și a specialiștilor din uzine la rezolvarea multiplelor probleme puse de dezvoltarea metalurgiei și siderurgiei în țara noastră ; ele au dat ocazie unui larg schimb de păreri și de experiență asupra celor mai acute probleme puse de dezvoltarea tehnicii, de ridicarea la un nivel mai înalt calitativ și cantitativ a producției siderurgice.

De altfel cercetătorii din Institutul de cercetări metalurgice au participat cu lucrări de specialitate la sesiunile științifice ale Academiei Republicii Sosialiste România, Institutului politehnic, la Conferința internațională de sudură de la Timișoara sau la conferințele uzinelor.

Cele mai valoroase realizări și lucrări ale cercetătorilor din ICEM au fost prezentate la congrese și la conferințe științifice internaționale, unde în majoritatea lor s-au bucurat de deosebit interes și apreciere.

Activitatea de publicație a Institutului de cercetări metalurgice s-a concretizat printr-un număr important de articole publicate în revistele „Metalurgie", „Metalurgie și construcțiile de mașini", „Studii și cercetări de me-

talurgie", „Revista minelor", „Energetica", „Standardizarea" etc., pe lîngă cele opt *Culegeri de cercetări metalurgice* care cuprind 321 de lucrări de cercetare, efectuate de către cercetătorii din institut, precum și de colaboratorii din uzine și din alte institute.

Comunicările prezentate în aceste culegeri reflectă diversitatea preocupărilor cercetătorilor din institut și nivelul științific și tehnic atins în lucrările efectuate, din care multe se situează în primele rînduri chiar la nivel mondial în ceea ce privește originalitatea și tehnicitatea soluțiilor date.

Unele dintre lucrările efectuate de către cercetătorii din institut au fost concretizate sub formă de brevete de invenții din care o parte sînt în curs de valorificare în străinătate.

Diversificarea și creșterea nivelului muncii de cercetare efectuate în institut s-au reflectat și prin creșterea numărului de colaborări, consultații și informări reciproce pe care cercetătorii din ICEM le-au realizat atît cu specialiștii din uzine și institute din țară, cît și din străinătate.

## BIBLIOGRAFIE


1. I. Păsărică (1933): *Monografia Uzinelor de fier și domeniile din Reșița.* București.
2. — ((1919): *Denkschrift über das Eisenwerk Resicza.* Reșița.
3. — (1896): *Beschreibung der ungarischen Domäne der STEG.* Budapesta.
4. — (1878): *Notice sur les Mines usines et domaines du Banat.* Viena.
5. Al. Rău (1962): *Elaborarea oțelurilor.* Editura Tehnică.
6. I. Barbu, I. Ștefănescu (1962): *Metalurgia și construcția de mașini,* **14**, *12*, 1051—1056.
7. H. Colan (1964): *Studii și cercetări de metalurgie,* **9**, *2*, 373—382.
8. C. Nicolaescu (1910—1913): Contribuții la metalurgia antică a cuprului în țările locuite azi de români. *Publicațiile de Vasile Adamachi,* ale Academiei Române V. 397—473.
9. Șt. Nădășan, L. Boleanțu (1965): *Studii și cercetări de rezistență și încercări de materiale.* 1923 (1965). Editura didactică și pedagogică, București.
10. D. Perietzeanu (1924): *Revue de Métallurgie,* **21**, 624—627.
11. J. M. Tweedy (1957): *Circulaire d'information techniques, C.D.S. 14,* **2**, 279.
12. D. Briscan (1960): *Metalurgia și construcția de mașini, 1.*
13. M. Constantinescu, G. Vulpescu (1949): *Metalurgia AGIR,* **2**.
14. G. Atanasiu, O. Hătărăscu, M. Pietroșeneanu (1961): *Cercetări metalurgice, ICEM,* **3**, 334—355.
15. O. Hătărăscu, G. Atanasiu, M. Pietroșeneanu (1962): *Cercetări metalurgice ICEM,* **4**, 7—19.
16. O. Hătărăscu, G. Atanasiu, M. Pietroșeneanu, L. Dumitru (1963): *Cercetări metalurgice,* **5**, 53—62.
17. O. Hătărăscu, G. Atanasiu, M. Pietroșeneanu, L. Dumitru (1963): *Metalurgia,* **4**, 298—305.
18. O. Hătărăscu, G. Atanasiu, M. Pietroșeneanu, L. Dumitru (1964): *Cercetări metalurgice, ICEM,* **6**, 15—22.
19. O. Hătărăscu, G. Atanasiu, M. Pietroșeneanu, L. Dumitru (1964): *Metalurgia,* **9**, 404—409.
20. I. Tripșa, O. Hătărăscu (1966): *Metalurgia,* **7**, 365—369.
21. I. Tripșa, O. Hătărăscu, P. Tocu (1966): *Studii și cercetări de metalurgie,* **11**, *2*, 191.
22. I. Tripșa (1964): *Cercetări metalurgice, ICEM,* **6**, 25—33.

23. P. Dumitrașcu, M. Ispas (1960): *Studii și cercetări metalurgice*, 5, *3*, 371.
24. M. Ispas, L. Dumitru, E. Segal (1963): *Studii și cercetări de metalurgie*, 8, *2*, 179.
25. A. Domșa, Z. Spîrchez (1966): *Studii și cercetări de metalurgie*, 11, *2*, 179.
26. C. Calcianu, L. Dumitru (1964): *Cercetări metalurgice, ICEM, 6*, 59—66.
27. V. Landes, M. Mihăilescu (1958): *Cercetări metalurgice*, ICEM, *1*, 13—25.
28. Gh. Stănciulescu, V. Landes, I. Ilină (1960): *Cercetări metalurgice*, ICEM, *2*, 358—377.
29. Gh. Stănciulescu, V. Landes, I. Ilină, S. Flexer (1962): „Cercetări pentru definitivarea tehnologiei de elaborare a feromanganului și silicomanganului din minereuri sărace, silicioase și fosforoase. *Cercetări metalurgice, 4*, 21—29.
30. Gh. Stănciulescu, V. Landes, I. Ilină, S. Flexer (1962): *Metalurgia și construcția de mașini, 6*, 481—486.
31. C. Avram, G. Kramer (1963): *Cercetări metalurgice, 5*, 35—41.
32. N. Iatan, V. Landes (1964): *Cercetări metalurgice, 6*, 95—101.
33. C. Avram, Gh. Stănciulescu, N. Grigore (1964): *Cercetări metalurgice*, ICEM, *6*, 49—56.
34 L. Goga, N. Iatan, V. Landes, I. Ilină (1964): *Cercetări metalurgice*, ICEM, *6*, 69—77.
35. Gh. Stănciulescu (1956): Metalurgia și construcția de mașini, 11, 51—56.
36. L. Sofroni, N. Văcărescu, I. Toma (1966): *Metalurgia, 10*, 559—563.
37. S. Ștefănescu, D. Cădariu, S. Manoliu (1957): *Metalurgia și construcția de mașini, 6*, 33—35.
38. N. Iatan (1962): *Metalurgia și construcția de mașini, 11*, 976—983.
39. N. Iatan, V. Landes, I. Ilină, M. Hîrșulescu (1963): *Cercetări metalurgice*, ICEM, *5*, 13—20.
40. N. Hîrșulescu (1964): *Cercetări metalurgice*, ICEM, *6*, 107—116.
41. E. Mărculescu, S. Ștefănescu (1957): *Metalurgia și construcția de mașini, 3*, 32—37.
42. C. Avram, N. Iatan (1963): *Metalurgia, 4*, 305—311.
43. D. Raseev, A. Pop, C. Marinescu (1954): *Studii și cercetări de mecanică și metalurgie*. 5, 1—2 ian.—iunie, 183.
44. I. Drăgan, C. Rizescu (1959): *Studii și cercetări metalurgice*, 4, *1*, 73.
45. L. Sofroni, E. Nicoloiu (1963): *Studii și cercetări de metalurgie*, 8, *2*, 191.
46. L. Sofroni, E. Nicoloiu (1963): *Studii și cercetări de metalurgie*, 8, *4*, 409.
47. C. Avram, L. Goga, I. Ilină (1960): *Cercetări metalurgice, ICEM, 2*, 379—389.
48. C. Avram, L. Goga, I. Ilină (1961): *Cercetări metalurgice, 3*, 358—371.
49. Tr. Traian Negrescu (1958): *Studii și cercetări de metalurgie*, 3, *2*, 161.
50. A. Kundacgian, C. Matei, Fl. Panaitescu (1962): *Metalurgia și construcția de mașini, 5*.
51. A. Kundacgian, C. Matei, Fl. Panaitescu (1962): *Cercetări metalurgice, 4*.
52. D. Cosma, A. Kundacgian, C. Matei (1960): *Cercetări metalurgice, 2*.
53. D. Cosma, Stefania Raicu, A. Kundacgian, Hilda Hubert (1962): *Metalurgia și construcția de mașini, 7*.
54. D. Cosma, Stefania Raicu, A. Kundacgian, Hilda Hubert (1962): *Cercetări metalurgice, 4*.
55. Stefania Raicu, Hilda Hubert (1965): *Cercetări metalurgice, 7*.
56. D. Cosma, A. Kundacgian, C. Matei (1958): *Cercetări metalurgice, 1*.
57. D. Cosma, P. Ballo, A. Kundacgian, V. Nedelcovici, C. Matei (1961): *Cercetări metalurgice, 3*.
58. D. Cosma, A. Kundacgian, Fl. Panaitescu, C. Matei, V. Nedelcovici (1962): *Metalurgia și construcția de mașini*, 11.
59. Al. Rău, D. Cosma (1964): *Metalurgia, 12*.
60. D. Cosma, V. Nedelcovici, J. Jolondkovski, Hilda Hubert (1963): *Metalurgia, 12*.
61. D. Cosma, Elena Iliescu, Lidia Balaban (1965): *Metalurgia, 6*.
62. D. Cosma, Elena Iliescu, Lidia Balaban (1965): *Cercetări metalurgice, 7*.

63. V. Nedelcovici, Hilda Hubert (1965): „Transformări microstructurale în oțelurile inoxidabile austenitice Cr—Mn—Ni—N." *Cercetări metalurgice, 7.*
64. D. Cosma, A. Kundacgian, Fl. Panaitescu, C. Matei (1963): *Cercetări metalurgice, 5.*
65. D. Cosma, V. Nedelcovici (1954): *Cercetări metalurgice, 6.*
66. M. Leizerovici, Otto Takacs, O. Draschan, V. Nedelcovici (1963): *Cercetări metalurgice, 5.*
67. O. Takacs, O. Drașan (1964): *Metalurgia, 1.*
68. O. Takacs, M. Leizerovici (1965): ***Metalurgia, 9.***
69. I. Tripșa, D. Cosma (1964): *Metalurgia, 8.*
70. D. Cosma, I. Buhescu, M. Leizerovici (1960): *Cercetări metalurgice, 2.*
71. D. Cosma, I. Buhescu, M. Leizerovici (1961): *Cercetări metalurgice, 3.*
72. I. Tripșa, Gh. Ilin, M. Costescu, M. Leizerovici (1965): *Cercetări metalurgice, 1.*
73. I. Tripșa, D. Cosma (1966): *Metalurgia, 12.*
74. I. Tripșa, M. Costescu (1965): *Cercetări metalurgice, 7.*
75. C. Ionescu, Fl. Panaitescu, M. Iacob, S. Sepi, I. Pipera (1966): *Cercetări metalurgice, 8.*
76. D. Cosma, M. Costescu, Fl. Panaitescu, M. Grigore (1966): *Cercetări metalurgice, 8.*
77. O. Negruș (1964): *Metalurgia, 2.*
78. R. Miculescu, R. Fischgold, I. Drăgan (1956): *Studii și cercetări de metalurgie, 2,* 339—349.
79. R. Fischgold, I. Drăgan (1958): *Studii și cercetări metalurgice,* 2, *3,* 345.
80. I. Drăgan, C. Rizescu (1959): *Studii și cercetări metalurgice,* 4, *1,* 73.
81. R. Fischgold, I. Drăgan (1962): *Studii și cercetări metalurgice,* 7, *1,* 89.
82. R. Fischgold (1956): *Studii și cercetări de metalurgie, 1,* 119—147.
83. I. M. Pavlov, I. Drăgan (1963): *Studii și cercetări de metalurgie,* 8, *4,* 443.
84. I. Franțiu, M. Loziciu, N. Laiu (1962): *Metalurgia și construcția de mașini,* 14, *1.*
85. I. Franțiu (1962): *Metalurgia și construcția de mașini,* 14, 12.
86. I. Franțiu, M. Loziciu, N. Laiu (1961): *Cercetări metalurgice,* ICEM, 3, București.
87. I. Franțiu (1961): *Metalurgia și construcția de mașini,* 13, *4.*
88. I. Franțiu, A. Nicolau (1963): *Metalurgia,* 15, 9.
89. I. Franțiu, N. Laiu (1966): *Metalurgia,* 18, *4.*
90. I. Franțiu, N. Laiu (1966): *Metalurgia,* 18, *8.*
91. I. Franțiu (1962): *Metalurgia și construcția de mașini,* 14, *6.*
92. I. Franțiu, N. Laiu (1966): *Cercetări metalurgice,* ICEM, 8, București.
93. I. Franțiu, M. Loziciu, N. Laiu, L. Sternberg (1962): *Cercetări metalurgice* ICEM, 4, București.
94. I. Franțiu (1961): *Standardizarea,* 13, 7.
95. I. Franțiu (1961): *Metalurgia și Construcția de Mașini,* 13, 7.
96. I. Franțiu, O. Cuida, N. Laiu (1963): *Metalurgia,* 15, *4.*
97. I. Franțiu, O. Cuida, N. Laiu, M. Loziciu (1963): *Cercetări metalurgice,* ICEM, 5, București.
98. I. Franțiu, N. Laiu, M. Loziciu, A. Ieremia, I. Toma (1964): *Cercetări metalurgice,* ICEM, 6, București.
99. I. Franțiu, N. Laiu, O. Cuida, A. Crafti, A. Ieremia, I. Toma, Tr. Iancu (1965): *Cercetări metalurgice,* ICEM, 7, București.
100. M. Adrian, M. Loziciu, L. Sternberg, Șt. Novac (1960): *Cercetări metalurgice și miniere, 2,* București.
101. A. Crafti (1965): *Cercetări metalurgice,* 7.
102. O. Cuida, M. Loziciu, Șt. Novac (1962): *Cercetări metalurgice, 4,* București.
103. M. Loziciu, A. Crafti (1963): *Cercetări metalurgice,* 5.
104. M. Loziciu, A. Crafti, C. Gavrilă (1964): *Cercetări metalurgice,* 6.
105. R. Fischgold, N. Laiu, M. Teodorescu, I. Feber (1966): *Metalurgia,* 7.

106. I. Drăgan, Şt. Novac (1966): *Metalurgia*, 1.
107. I. Drăgan, Şt. Novac, A. Crafti (1966): *Cercetări metalurgice*, 8.
108. Şt. Novac, O. Cuida, M. Loziciu (1963): *Cercetări metalurgice*, 5, Bucureşti.
109. O. Cuida, M. Avramescu (1964): *Metalurgia*, 2.
110. Şt. Novac, O. Cuida, M. Loziciu (1962): *Cercetări metalurgice*, 4, Bucureşti.
111. N. Mereţ, Şt. Novac (1964): *Revista minelor*, 9.
112. Şt. Novac şi alţii (1966): *Metalurgia*, 18, 9.
113. Şt. Novac, N. Mereţ (1967): *„Utilizarea raţională a cablurilor în industrie*, Edit. Tehnică — Bucureşti.
114. O. Cuida, I. Franţiu, C. Avram (1964): *Cercetări metalurgice*, ICEM, 6, Bucureşti.
115. N. Greavu, T. Petrescu, O. Cuida, I. Franţiu (1965): „Elaborarea semifabricatelor pentru ţevi placate prin metoda alierii în baie de zgură". *Referate prezentate la sesiune I.C.—T.C.M.*, iulie, vol. II, IDT-Bucureşti.
116. O. Cuida, I. Franţiu ş.a. (1965): *Cercetări metalurgice*, ICEM, 7, Bucureşti.
117. O. Cuida, Gh. Avram (1965): *Metalurgia*, 4.
118. O. Cuida, Gh. Avram (1966): *Cercetări metalurgice*, 8.
119. O. Cuida, Gh. Avram (1967): *Fabricarea ţevilor inoxidabile la Uz. Republica*. Institutul de Documentare Tehnică.
120. I. Drăgan, M. Loziciu, A. Crafti, A. Ieremia (1964): *Cercetări metalurgice*, 6.
121. A. Constantinescu, M. Blumenfeld (1955): *Metalurgia aplicată*, 5.
122. M. Blumenfeld, A. Constantinescu (1955): *Standardizarea*, 9.
123. Gh. Buzdugan, A. Constantinescu, M. Blumenfeld (1956): *Metalurgia şi construcţia de maşini*, 1.
124. Gh. Buzdugan, A. Petre, M. Blumenfeld, A. Constantinescu (1956): *Încercările nedestructive ale metalelor*. IDT.
125. A. Constantinescu, M. Săvulescu (1956): *Metalurgia şi construcţia de maşini*, 9.
126. A. Constantinescu, N. Lascu-Simion (1957): *Metalurgia şi construcţia de maşini*, 3.
127. A. Constantinescu, N. Lascu-Simion, N. Guja (1957): *Metalurgia şi construcţia de maşini*, 6, 50—60.
128. Gh. Buzdugan, A. Constantinescu (1958): Études des contraintes dans le voisinage des cuvertures, d'evacuation des jours rotativs. *Bul. Institutului Politehnic*, Bucureşti, 20, 3, 173—188.
129. A. Constantinescu, N. Lascu-Simion (1959): *Metalurgia şi construcţia de maşini*, 1, 29—36.
130. M. Loziciu, A. Constaninescu (1962): *Cercetări metalurgice*, 4, Edit. tehnică, 91—114.
131. A. Constantinescu, N. Lascu-Simion (1962): Contribuţii în domeniul cunoaşterii solicitării reale şi cajei de lucru a unui laminor la cald pentru tablă subţire. *Conferinţa Naţională de sudură şi încercări de metale*, Timişoara, 276—282.
132. A. Constantinescu, N. Lascu-Simion, M. Roşu (1963): *Cercetări metalurgice*, 5, Ed. Tehnică, 97—102.
133. A. Constantinescu, V. Micloşi, I. Costăchescu, N. Lascu-Simion (1963): *Cercetări metalurgice*, 5, Ed. Tehnică, 223—231.
134. A. Constantinescu, V. Micloşi, I. Costăchescu, N. Lascu-Simion (1963): *Cercetări metalurgice*, 5, Ed. Tehnică, 233—240.
135. D. Cosma, A. Constantinescu (1964): Influenţa elementelor de aliere asupra rezistenţei de durată în condiţii de temperaturi ridicate în cazul unui oţel cu 0,2% C şi 12% Cr. *Simpozionul „Încercarea Materialelor"*, ian., Leipzig.
136. A. Constantinescu, N. Lascu-Simion (1964): Asupra unor chestiuni de metodică privind încercarea de tracţiune la cald a unui oţel cu 0,2% C şi 12% Cr. *Simpozionul „Încercarea Materialelor*, ian., Leipzig.
137. A. Constantinescu (1964): *Cercetări metalurgice*, 6, Ed. Tehnică, 465—477.
138. A. Constantinescu, N. Lascu-Simion (1964): *Cercetări metalurgice*, 6, Ed Tehnică, 397—405.

139. A. Constantinescu, V. Micloşi, N. Lascu-Simion (1964): *Metalurgia şi construcţia de maşini, 1,* 9—16.
140. A Constantinescu (1965): Consideraţii privind valorificarea practică a rezultatelor încercărilor de fluajele oţelurilor folosite în condiţii de solicitare la temperaturi ridicate. *Conferinţa Naţională de Sudură şi Încercări de Metale,* Timişoara, 337—348.
141. A. Constantinescu, N. Lascu-Simion (1965): Cercetări privind fragilitatea de fluaj a două oţeluri termostabile aliate cu crom. *Conferinţa Naţională de Sudură şi Încercări de Metale,* Timişoara, 349—361.
142. A. Constantinescu, N. Lascu-Simion (1965): Asupra formulelor parametrice de extrapolare a rezultatelor încercărilor de fluaj. *Conferinţa Naţională de Sudură şi Încercări de Metale,* Timişoara, 449—465.
143. A. Constantinescu, B. Rotenştein, L. Staicu (1966): *Cercetări metalurgice,* 8, Ed. Tehnică, (în curs de apariţie).
144. A. Constantinescu, N. Lascu-Simion (1965): *Rev. Roum. Sci. Tehn. Métallurgie,* 10, *2,* 245—255.
145. A. Constantinescu, N. Lascu-Simion (1966): *Metaloznawstwo Stosowane,* 12, *1/55,* 25—33.
146. A. Constantinescu, M. Blumenfeld (1966): *Studii şi cercetări metalurgice,* 11, *2,* 313—323.
147. A. Constantinescu, M. Blumenfeld (1966): *Rev. Roum. Sci. Techn. Métallurgie,* 11, *2,* 213—224.
148. A. Constantinescu, L. Staicu, B. Rotenştein (1966): Analiza röntgenostructurală a modificărilor produse în timpul fluajului în două oţeluri termostabile. *Simpozionul „Folosirea razelor X în metalurgie",* 93, *Gliwice,* mai.
149. A. Constantinescu, D. Cosma (1964): *Cercetări metalurgice,* 6, 445—451.
150. A. Constantinescu, N. Lascu-Simion (1965): *Cercetări metalurgice,* 7, 225—237.
151. B. Rotenştein (1953): *Metalurgia, 10,* 5.
152. B. Rotenştein (1953): Influenţa unor elemente de aliere asupra structurii şi proprietăţilor oţelului de construcţii slab aliat. Autoreferatul tezei de aspirantură, Ed. Instit. Oţelului, Moscova.
153. B. Rotenştein, S. Caloghiru, T. Teitel (1956): Contribuţii la stadiul transformării fără difuzie $\gamma \rightarrow \alpha$ în aliaje Fe-C. *Buletin ştiinţific, Secţia de ştiinţe matematice şi fizice,* 8, *1,* 237—246.
154. B. Rotenştein (1956): *Studii şi cercetări de metalurgie,* 1, *2,* 261—282.
155. B. Rotenştein (1956): Metoda magnetică utilizată la cercetarea aliajelor Fe-C. Analele Româno-Sovietice. *Seria metalurgia şi constr. de maşini 2,* 141—160.
156. B. Rotenştein, N. Drăgan (1958): *Studii şi cercetări de metalurgie, 3,* 253—285.
157. N. Drăgan, B. Rotenştein (1958): *Studii şi cercetări de metalurgie, 4,* 463—476.
158. B. Rotenştein, N. Drăgan (1959): *Studii şi cercetări de metalurgie, 3,* 295—310.
159. B. Rotenştein, N. Drăgan (1959): *Studii şi cercetări de metalurgie, 2,* 127.
160. B. Rotenştein, N. Drăgan (1953): *Studii şi cercetări de metalurgie, 4,* 493—510.
161. B. Rotenştein, C. Caloghiru, T. Teitel (1959): *Revue de métallurgie,* 3, *1,* 100—108.
162. N. Drăgan, B. Rotenştein (1959): *Revue roumaine de métallurgie,* 4, *1,* 29—39.
163. B. Rotenştein, N. Drăgan (1959): *Revue de métallurgie,* 4, *2,* 121—129.
164. B. Rotenştein, N. Drăgan (1959): *Revue de métallurgie,* 4, *2,* 131—143.
165. B. Rotenştein, I. Drăgan (1958): *Studii şi cercetări de metalurgie, 1,* 106.
166. B. Rotenştein, N. Drăgan (1960): *Revue roumaine de métallurgie,* 5, *1,* 25—39.
167. B. Rotenştein, N. Drăgan (1960): *Studii şi cercetări de metalurgie, 3,* 321—342.
168. B. Rotenştein, N. Drăgan (1960): *Revue roumaine de métallurgie,* 5, *2,* 207—225.
169. B. Rotenştein, N. Drăgan (1960): Izotermiceskoe razlojenie austenita o stali ARC 3. *Biulleten naucinci informaţii.* Seria matematiki, fiziki, kimii, techniceskih nauk, *2,* 163—166.

170. B. Rotenştein, N. Drăgan, L. Staicu (1963): Consideraţii asupra diagramelor transformării izoterme a austenitei (curbe TTT) în unele oţeluri de construcţii studiate de ICEM. *Cercetări metalurgice*, ICEM, 5, 89—102.
171. B. Rotenştein, N. Drăgan, L. Staicu (1963): *Cercetări metalurgice*, ICEM, 5, 103—111.
172. B. Rotenştein, N. Drăgan, L. Staicu, H. Hubert (1963): *Studii şi cercetări de metalurgie, 2*, 111—130.
173. B. Rotenştein, N. Drăgan, L. Staicu, H. Hubert, M. Iacob(1963): *Studii şi cercetări de metalurgie, 4*, 375—389.
174. B. Rotenştein (1964): *Metalurgia, 9*, 387—391.
175. B. Rotenştein (1966): *Metalurgia, 8*, 446—451. *Cercetări metalurgice*, 7, (în curs de apariţie).
176. B. Rotenştein, N. Drăgan, L. Staicu, H. Hubert (1964): *Rev. roum. des sci. techniques. Métallurgie, 1*, 105—111.
177. B. Rotenştein, L. Staicu (1964): *Cercetări metalurgice*, ICEM, 6, 191—204.
178. B. Rotenştein, L. Staicu (1964): *Studii şi cercetări metalurgice, 2*, 147—159.
179. B. Rotenştein, N. Drăgan, L. Staicu, H. Hubert, M. Iacob (1965): *Trattamenti dei Metalli*, 8, *39*, 13—20.
180. B. Rotenştein, L. Staicu (1964): *Rev. roum. des sci. tech. Métallurgie, 2*, 181—193.
181. M. Ianovici, D. Cosma, M. Drosu, B. Rotenştein (1963): *Electrotehnica*, vol. 11, *7*, 266—274.
182. B. Rotenştein, L. Staicu (1967): Modificări structurale în oţelurile termostabile 1% Cr — 0,5% Mo şi 2,25% Cr, 1% Mo, prin tratamente termice. *Metalurgie, 2*, (în curs de apariţie).
183. L. Staicu (1959): *Tehnica Nucleară, 2*, 15—20.
184. L. Staicu (1963): *Metalurgia*, 15, *11*, nov., 660—662.
185. L. Staicu (1965): *Cercetări metalurgice*, ICEM, 7, 133—138.
186. L. Staicu (1965): *Metalurgia*, 17, *7*, iulie, 363—365.
187. I. Costăchescu (1966): *Metalurgia, 1*, 9.
188. M. Teodorescu, M. Roşu (1965): Dispozitiv colector pentru măsurarea momentului de torsiune prin tensometrie electrică, pe piese în rotaţie. *A V-a Conferinţă de Sudură şi Încercări de Metale, Timişoara*, 441—449.
189. M. Teodorescu (1966): *Cercetări metalurgice, 8*.
190. M. Teodorescu (1966): Determinarea parametrilor tehnologici de lucru la laminoare. *Rev. România, 2*.
191. I. Costăchescu (1965): *Cercetări metalurgice*, 7, 239.
192. El. Iliescu, L. Balaban, D. Cosma, V. Nedelcovici (1966): *Cercetări metalurgice, 8*.
193. L. Balaban, El. Iliescu (1966): *Metalurgia, 4*.
194. I. Blum, Fr. Bolchi, I. Nistor, Fr. Barca (1959): *Studii şi cercetări de energetică*, 9, *4*.
195. I. Blum, I. Nistor (1962): *Studii şi cercetări de energetică*, 11, 687—699. XII, 515—528.
196. I. Blum (1956): Elemente caracteristice în procesul de cocsificare al cărbunelui asupra bitumenului din cărbuni cocsificabili. *Buletinul Institutului Politehnic, Bucureşti*, 18, *3—4*.
197. I. Blum (1957): *Combustibili solizi. Manualul ing. chimist*, vol. V, Edit. Tehnică, Bucureşti.
198. I. Blum, C. Novac, F. Barca, C. Soroceanu (1963): *Studii şi cercetări de energetică*, seria B, *3*, Bucureşti.
199. I. Barbu (1955): *Revista Minelor*, 6, *3*, 102—105.
200. I. Barbu (1955): *Metalurgia şi construcţii de maşini*, 7, *4*, 111—115.
201. I. Barbu (1956): *Metalurgia şi construcţii de maşini*, 8, *4/5*, 39—42.
202. I. Barbu, I. Ştefănescu (1956): *Revista minelor*, 7, *11*, 586—597.
203. I. Barbu, Şt. Forizs, D. Miorţescu (1957): *Metalurgia şi construcţia de maşini*, 9, *3*, 27—31.

204. I. Barbu, G. Reinhorn (1957): *Revista de chimie*, 8, *3*, 546—547.
205. I. Barbu, G. Reinhorn (1957): *Revista de chimie*, 8, *8*, 204—205.
206. V. David, E. Kaba (1966): *Metalurgia*, *4*.
207. I. Barbu, Al. Milinovici, N. Teodorescu (1958): *Cocsul metalurgic tratat*, Edit. Tehnică, 193.
208. I. Barbu, V. David, I. Ştefănescu (1964): *Cartea Cocsarului*. Edit. tehnică.
209. V. David, S. Popa (1965): *Metalurgia*, 17, *5*.
210. V. David, E. Kaba (1965): *Metalurgia*, 17, *10*.
211. Şt. Forizs (1966): *Metalurgia*, *9*, 497—500.
212. I. Barbu, C. Novac, Paula Grigorescu (1964): *Energetica*, 12, *9*, 476—480, septembrie.
213. I. Barbu, G. Reinhorn (1966): *Metalurgia*, *11*.
214. I. Barbu, I. Ştefănescu, G. Reinhorn (1967): *Metalurgia*, 19, *1*.
215. M. D. Ionescu, V. Anghel (1956): *Revista minelor*, *5*, 242—248.
216. D. Ionescu, B. Racoviţă (1956): *Revista metalurgia şi construcţia de maşini*, *8*, 37—38.
217. D. Ionescu, V. Anghel (1957): *Revista minelor*, *2*, 98—104.
218. D. Ionescu, V. Anghel (1957): *Revista minelor*, *12*, 575—576.
219. D. Ionescu, V. Anghel (1957): *Metalurgia şi constr. de maşini*, *1*, 19—24.
220. D. Ionescu, V. Anghel, M. Wolkenfeld, Ana Partene, A. Păun (1957): Fabricarea semicocsului prin fluidizare. *Anuarul Institutului de cercet. miniere*, 214—218.
221. D. Ionescu, V. Anghel, B. Racoviţă, E. Căjin (1957): Studiul uscării lignitilor prin fluidizare. *Anuarul Instit. de cercetări miniere*, 219—221.
222. D. Ionescu, V. Anghel (1958): Carbofluid, faza industrială a cercetărilor fabricaţiei semicocsului prin fluidizare. *Anuarul Instit. de cercet. miniere*.
223. D. Ionescu, V. Anghel, A. Partene, A. Păun (1959): *Metalurgia şi constr. de maşini*, *8*.
224. D. Ionescu, A. Păun, El. Dobrescu (1962): *Buletin documentar*, ICEM-IPROMET, *2*, 49—71.
225. D. Ionescu, A. Păun, N. Vlasie (1961): *Cercetări metalurgice şi miniere*, *5*, 179—193.
226. El. Sava, N. Vlasie (1964): *Cercetări metalurgice*, *6*, 613—619.
227. D. Ionescu (1963) Wirbelschichtverfahren zur Schwerkokserzeugung in der Rumänischen Volksrepublik. *A IV-a Conferinţă Minieră Metalurgică a Academiei de Mine Freiberg*.
228. D. Ionescu, El. Sava (1965): *Cercetări metalurgice*, *7*, 367—375.
229. I. Barbu (1951): *Revista de chimie*, 6—9.
230. I. Barbu (1951): *Buletinul de standardizare*, III, *8*, 359—366.
231. I. Barbu (1953): *Energetica*, I, 31—38.
232. I. Barbu, I. Ştefănescu (1954): *Standardizarea*, 6, *12*, 7—16.
233. I. Barbu, I. Ştefănescu (1954): *Standardizarea*, 6, *12*, 6—15.
234. I. Barbu (1955): *Energetica şi Hidrotehnica*, 3, *6*, 249—253.
235. I. Barbu (1957): *Standardizarea*, *7*, 338—340.
236. I. Barbu, I. Ştefănescu (1954): *Metalurgia*, 5, 6—14.
237. I. Barbu, I. Ştefănescu (1955): *Revista minelor*, 6, *8*, 266—271.
238. I. Barbu, I. Ştefănescu (1955): *Revista minelor*, 6, *10*, 338—341.
239. I. Barbu, N. Nistor, I. Ştefănescu (1956): *Revista minelor*, 7, *6*, 278—281.
240. I. Barbu, I. Ştefănescu, N. Nistor (1956): *Revista minelor*, 7, *12*, 641—643.
241. I Barbu, I. Ştefănescu (1957): *Metalurgia şi construcţia de maşini*, *1*, 41—50.
242. I. Barbu (1957): *Revista minelor*, 8, *4*, 189—191.
243. I. Barbu, N. Teodorescu (1958): *Revista minelor*, 9, *9*, 414—419.
244. I. Barbu, N. Teodorescu (1959): *Revista minelor*, 10, *4*, 154—157.
245. Colectiv I. Barbu (1961): *Buletin Documentar*, ICEM-IPROMET, *2*, 57—74.
246. I. Barbu, A. Păun, E. Corciovei, I. Voinea (1961): *Revista minelor*, 12, *7*, 315—317.
247. I. Barbu, Il. Enescu, V. Cîndea (1964): *Metalurgia*, 16, *5*, 195—198.

248. I. Barbu, C. Novac, P. Goga (1966): *Metalurgia*, 18, 7.
249. I. Barbu, A. Păun, I. Voinea, E. Corciovei (1959): Producerea cocsului din cărbuni neaglutinanți. Stabilirea parametrilor necesari proiectării. *Asistența tehnică*, ICEM, București.
250. I. Barbu, A. Păun, I. Voinea, E. Corciovei (1959): Producerea cocsului din cărbuni neaglutinanți. Cocsificarea brichetelor din șarjă mixtă. (*Studiul de sinteză*), ICEM, București.
251. I. Barbu, E. Corciovei, I. Voinea (1959): Studiul randamentelor caracteristicilor și posibilităților de valorificare a subproduselor chimice de la fabricarea cocsului brichete prin procedeul într-o treaptă și jumătate. (*Raport de etapă*), ICEM, București.
252. I. Barbu, I. Ștefănescu, I. Voinea, Gh. Costinescu, V. Ardeleanu, I. Bratu (1960): Fabricarea cocsului brichete din cărbuni neaglutinanți (determinarea indicilor și parametrilor necesari instalațiilor industriale). ICEM, București.
253. I. Ștefănescu, I. Barbu, Avram Cezar (1966): Folosirea cocsului brichete ICEM într-un furnal de 700 m.c. *Comunicare la Sesiunea științifică a Instit. Politehnic*, București.
254. I. Ștefănescu, I. Barbu, Avram Cezar (1966): Incercări privind utilizarea cocsului brichete ICEM într-un furnal de 700 m.c. (la Congresul Internațional). *Cocsul în Siderurgie*, 19—22 XI., Charleroi, Belgia.
255. I. Barbu, I. Ștefănescu, E. Falk, E. Corciovei (1966): *Metalurgia*, 18, *10*.
256. I. Barbu, I. Ștefănescu și colectiv (1966): *Cercetări metalurgice*, 8.
257. I. Barbu (1952): *Metalurgia*, 3, *11—12*, 23—25, Buc.
258. I. Ștefănescu, I. Barbu, M. Hîrșulescu (1966): *Cercetări metalurgice*, *8*.
259. I. Barbu, I. Ștefănescu, M. Hîrșulescu (1966): *Metalurgia*, 18, *8*.
260. S. Solacolu (1960): *Studii și cercetări metalurgice*, *2*.
261. S. Solacolu (1952): *Revista de chimie*, *4—5*.
262. L. Petri (1958): *Cercetări metalurgice*, *1*.
263. N. Oncescu (1958): *Cercetări metalurgice*, *1*.
264. I. Veiser (1962): *Cercetări metalurgice*, *4*.
265. N. Deică și alții: „Procedeu de preparare a maselor Silica". Certificat de autor nr. 42811.
266. E. Bărbulescu, C. Bîrlogeanu, C. Camerman (1962): *Cercetări metalurgice*, *4*.
267. V. Siniansky, E. Bărbulescu (1953): *Revista MIM*, *3*.
268. E. Bărbulescu, A. Szabo, C. Bîrlogeanu, I. Dragoman și alții (1963): *Cercetări metalurgice*, *5*.
269. A. Szabo, E. Bărbulescu, C. Bîrlogeanu, I. Dragoman (1964): *Cercetări metalurgice*, *6*.
270. L. Petri, A. Szabo, N. Deică, B. Jitea, A. Corneanu și alții (1965): *Cercetări metalurgice*, *6*.
271. N. Deica și alții (1966): Produse refractare corindonice pentru căptușirea cauperelor, furnalelor, regeneratoarelor. Certificat de autor nr. 51980.
272. Deică N. și alții (1964): *Cercetări metalurgice*, *6*.
273. Deică N. și alții (1960): Procedeu de instalații pentru fabricarea șamotelor aluminoase în cuptor rotativ. Brevet de invenție nr. 290/41625.
274. L. Solomon, C. Bîrlogeanu, I. Dragoman (1966): *Buletin documentare*, ICEM—IPROMET nr. 1.
275. B. Jitea, A. Szabo, L. Petri (1965): *Cercetări metalurgice*, *7*.
276. B. Jitea, L. Petri, A. Szabo (1963): *Cercetări metalurgice*, *5*.
277. N. Deică (1965): Pulberi pentru micșorarea retasurii, reducerea incluziunilor și defectelor de suprafață ale lingourilor de oțel. Brevet nr. 50497/65.
278. Th. Dumitrescu, V. Păsărică A. Bîrhală (1965): *Cercetări metalurgice*, *7*, 139—147.
279. Th. Dumitrescu (1964): *Cercetări metalurgice*, *6*, 593—594.
280. Th. Dumitrescu (1965): *Metalurgia*, *12*, 649—652.

281. Th. Dumitrescu, V. Popescu, M. Caba: *Metalurgia, 7,* 389—393.
282. Th. Dumitrescu, M. Ghinea, M. Ivan (1966): *Metalurgia, 12.*
283. Th. Dumitrescu, M. Ionescu, A. Păun, M. Cozma (1961): *Cercetări metalurgice și miniere, 2,* 729—739.
284. Th. Dumitrescu (1966): *Metalurgia, 4,* 192—195.
285. A. Radu, L. Nicolescu, S. Chisacov (1963): *Cercetări metalurgice,* 5, 439.
286. L. Nicolescu (1964): *Cercetări metalurgice, 6,* 621.
287. E. Dobrescu, M. Vermeșan (1964): *Cercetări metalurgice, 6,* 633.
288. E. Mustăcescu (1961): *Cercetări metalurgice, 3,* 675.
289. E. Mustăcescu (1960): *Metalurgia, 3,* 244.
290. S. Chisacov (1964): *Metalurgia, 3,* 117.
291. L. Nicolescu, M. Șerban, G. Ursu ș.a. (1961): *Cercetări metalurgice, 3,* 612.
292. A. Radu, V. Ruckenștein (1961): *Cercet. metalurgice, 3,* 660.
293. A. Radu (1958): *Rev. de chimie, 6,* 326.
294. N. Brateș (1967): Metode de analiză pentru dozarea staniului și bismutului din fonte. *Comunicare a ses. comunicări științifice,* ICEM.
295. L. Nicolescu, M. Morait, E. Mustăcescu (1967): *Comunicare la ses. de comunicări științifice,* ICEM.
296. A. Radu, M. Morait, M. Ionescu (1962): *Cercetări metalurgice, 4,* 341.
297. M. Aroneanu (1960): *Metalurgia și constr. de mașini, 8,* 755.
298. E. Cioacă (1967): Determinarea colorimetrică a beriliului din aliajele de tip cupru-beriliu. *Comunicare la ses. de comunicări științifice,* ICEM.
299. H. Cedighian (1962): *Cercet. metalurgice, 4,* 356.
300. O. Negruș (1961): *Metalurgia, 6,* 536.
301. O. Negruș (1962): *Metalurgia, 3,* 220.
302. O. Negruș (1964): *Metalurgia, 2,* 76.
303. M. Morait, E. Mustăcescu (1963): *Cercet. metalurgice, 5,* 427.
304. M. Ghiliceanu, C. Adler, P. Vezeanu (1962): *Cercet. metalurgice, 4,* 188—205.
305. M. Ghiliceanu (1963): *Cercet. metalurgice, 5,* 407—415.
305. M. Ghiliceanu, C. Adler, P. Vezeanu, M. Negulici, I. Lenger (1963): *Cercet. metalurgice, 5,* 407—415.
306. P. Vezeanu (1964): *Cercet. metalurgice, 6,* 585—593.
307. O. Adler, P. Vezeanu (1965): *Cercet. metalurgice, 7,* 37—47.
308. M. Ghiliceanu, O. Adler, P. Vezeanu, M. Negulici, L. Lengher (1963): *Cercet. metalurgice, 5,* 393—407.
309. O. Adler (1964): *Cercet. metalurgice, 6,* 183—191.

# PREOCUPĂRI ÎN CERCETAREA DE METALURGIE FIZICĂ ÎN ȚARA NOASTRĂ

În epoca actuală, cînd știința avansează cu pași gigantici, cercetarea științifică a devenit factor determinant în dezvoltarea viitoare a statelor. Acțiunile întreprinse în țara noastră și care s-au concretizat prin înființarea Consiliului Național al cercetării științifice, demonstrează adînca înțelegere și însemnătatea acordată cercetării științifice de către conducerea de Partid și de Stat în Republica Socialistă România. De asemenea, se desprinde pentru viitor concluzia că Statul nostru se va sprijini din ce în ce mai mult pe cercetarea științifică, acordîndu-i în acest scop mijloacele materiale și umane de care are nevoie.

În această ordine de idei, cercetările de metalurgie fizică sînt capabile să aducă însemnate contribuții cu privire la economia de metale și la îmbunătățirea continuă a calității produselor metalice. Într-adevăr, metalurgia fizică avînd ca obiect cunoașterea structurii interne a materiei metalice, a relațiilor dintre structură și proprietăți, precum și a legilor care guvernează modificarea acestei structuri prin aliere, deformări plastice, tratament termic sau procedee combinate, poate găsi mijloacele, sau poate stabili procesele de tratament prin care să se obțină structuri cu proprietăți, sau asociații de proprietăți mai dinainte stabilite.

Multe din progresele extraordinare ale tehnicii din zilele noastre se datoresc, în mare parte, cuceririi științei în domeniul cunoașterii structurii și proprietăților materiei în general, și ale materiei metalice în special. Cunoștințele astfel dobîndite au permis atît îmbunătățirea proprietăților materialelor metalice deja cunoscute cît și producerea de metale și aliaje noi, cu performanțe pînă mai ieri nebănuite.

La baza tuturor acestor realizări stă posibilitatea, pe care au avut-o metalurgiștii, de a considera structura metalelor la scări din ce în ce mai fine. De la cercetarea macroscopică, la cea microscopică și de la aceasta la cea atomică, fiecare etapă parcursă a deschis noi orizonturi de gîndire și a adus noi realizări practice. Astăzi, este de presupus că cele mai importante dintre progresele susceptibile de a decurge din considerarea materiei metalice la scara atomică pot fi socotite fapte împlinite. Pasul următor, pe care meta-

lurgia fizică a început deja să-l realizeze, va decurge desigur dintr-o cît mai completă cunoaştere a fenomenelor legate de structura electronică a materiei metalice.

* * *

## 1. ISTORICUL CERCETĂRILOR

Pînă la sfîrşitul primului război mondial, România a fost aproape lipsită de o industrie metalurgică sau constructoare de maşini proprie. De aceea cercetările asupra structurii metalelor şi aliajelor nu s-au putut dezvolta decît sporadic [1], şi în general fără a se urmări scopuri metalurgice, cum ar fi îmbunătăţirea anumitor proprietăţi sau perfecţionarea unor procese tehnologice.

Între cele două războaie mondiale fiind create condiţii mai prielnice pentru dezvoltarea industriei metalurgiei extractive şi prelucrătoare, s-a simţit nevoia pregătirii specialiştilor necesari, luînd astfel fiinţă în 1920 Şcolile politehnice din Bucureşti şi Timişoara, cu secţii de specializare — numite mai tîrziu facultăţi —, între care şi Secţia de Mine şi Metalurgie. Începînd cu anul 1928, cunoştinţele de metalurgie fizică au intrat definitiv în programul de curs al studenţilor, predate pentru prima oară de Prof. Dr. Traian Negrescu.

In acelaşi interval de timp cercetările de metalurgie fizică au început să se dezvolte treptat şi citäm lucrările [2], [3], [4], [5] efectuate de Tr. Negrescu. In prima dintre ele, Tr. Negrescu în colaborare cu A. Westgren şi G. Phrogman, se ocupă cu studiul structural al carburilor în oţeluri, cea de-a doua, lucrarea sa de doctorat, devenită clasică, este din domeniul analizei spectrale cantitative a aliajelor metalice, iar ultimile două, [4], şi [5], în colaborare cu St. Mantea, sînt primele lucrări sistematice din ţară care pun în evidenţă principiile ştiinţifice pe care se bazează folosirea raţională a aliajelor de cupru. Menţionăm de asemenea lucrarea efectuată de Alex. Rău [6], care aduce importante contribuţii cu privire la studiul cristalizării lingourilor de oţel şi lucrarea cu caracter didactic şi practic de laborator „Atlas metalografic şi colecţie de structuri" [7] întocmită de St. Mantea, privind studiul structurilor metalelor şi aliajelor, lucrare care a servit ca punct de plecare la înfiinţarea de laboratoare metalografice la numeroase uzine din ţară (Uz. Malaxa, Arsenalul Armatei, Fabrica de Fitinguri Petroşani etc.).

După 23 August 1944 s-a pus un accent deosebit pe dezvoltarea industriei grele în general şi în special a industriei constructoare de maşini. Industrializarea socialistă a ţării, începută după naţionalizarea principalelor mijloace de producţie din 1948, a dus la dezvoltarea într-un ritm rapid a sectorului metalurgic şi a construcţiei de maşini. Această dezvoltare a pus

industriei probleme noi, variate şi complexe, a căror rezolvare a creat necesitatea înfiinţării unor instituţii speciale, bine încadrate şi cu bază materială corespunzătoare, capabile să desfăşoare o activitate organizată de cercetare în domeniul metalurgiei.

In acest scop au luat fiinţă în cadrul Institutului de metalurgie şi mecanică aplicată al Academiei (IMMA), secţiile de Siderurgie şi Metalurgie neferoasă (1949), devenite mai tîrziu Centrul de cercetări metalurgice al Academiei ; în 1950 s-a organizat Institutul departamental de cercetări şi proiectări metalurgice (ICEPROM) — devenit în prezent Institut de cercetări metalurgice (ICEM) şi, concomitent, s-a intensificat activitatea de cercetare în catedrele de specialitate din învăţămîntul superior tehnic.

In perioada care a urmat s-a dezvoltat o susţinută activitate de cercetare în cadrul acestor instituţii care se referă la o mare diversitate de probleme de interes fie ştiinţific fundamental, fie cu caracter tehnico-ştiinţific. Analiza atentă a lucrărilor din domeniul metalurgiei fizice arată că s-au obţinut rezultate importante pe mai multe direcţii de cercetare şi anume :

— Proprietăţile şi constituţia zgurilor metalurgice în stare lichidă ;

— Metode spectrografice cantitative şi metode de purificare a metalelor şi fazelor intermediare ;

— Transformări în stare solidă la aliajele Fe-C simple şi complexe ;

— Deformarea plastică a metalelor ;

— Coroziunea metalelor şi aliajelor ;

— Metalurgia pulberilor.

In cele ce urmează vom face o succintă prezentare a cîtorva din rezultatele obţinute.

## 1. CERCETĂRI ASUPRA PROPRIETĂŢILOR ŞI CONSTITUŢIEI ZGURILOR

Cercetările în această direcţie au fost efectuate de Acad. Tr. Negrescu şi cuprind lucrări [8]—[15] asupra puterii desulfurante a zgurilor de furnal înalt, lucrări [16]—[19] asupra puterii oxidante a zgurilor de oţelărie şi lucrări [20]—[21] asupra termodinamicii zgurilor metalurgice lichide. Rezultatele acestor cercetări au condus la stabilirea de relaţii cantitative cu privire la grupările de ioni din masa topiturilor şi schiţarea configuraţiilor şi mecanismelor de formare a unora dintre aceste grupări. Introducerea unor asemenea consideraţii de ordin structural la studiul fizico-chimismului zgurilor topite a permis lămurirea noţiunilor de „soluţie diluată“ şi soluţie concentrată şi a dat o imagine plastică aceleia de „activitate termodinamică“, noţiune nelegată pînă atunci cu structura materiei lichide. Ca aplicaţie directă s-a stabilit o metodă originală de calcul cu privire la capacitatea de absorbţie pentru sulf a zgurilor metalurgice şi de calcul precis al patului de fuziune.

## 2. CERCETĂRI ASUPRA METODELOR DE DOZARE SPECTROGRAFICĂ ȘI DE PURIFICARE INAINTATĂ A METALELOR

Aceste studii au fost efectuate atît pentru continuarea unei tradiții stabilită de Traian Negrescu [3], cît și pentru a pune în valoare noi elemente valoroase aflate în subsolul patriei noastre. În urma studiilor în direcția perfecționării metodelor de investigație pentru identificarea și determinarea cantitativă a elementelor la conținuturi foarte mici, s-a stabilit o metodă pentru determinarea spectrografică cantitativă a germaniului în cărbunii minerali [22]; cu metoda respectivă se poate doza germaniul pînă la 5 p.p.m. De asemenea s-au pus la punct metoda spectrografică pentru determinarea germaniului și indiului în minereuri [23] și o altă metodă pentru identificarea magneziului în fonte [24].

Cu privire la germaniu, găsim necesar să arătăm că identificarea lui în unele concentrate de cupru și de zinc, în subprodusele metalurgiei neferoase și în unele strate de cărbuni din țară [22]—[25] s-a făcut pentru prima oară în anul 1955, în cadrul Centrului de cercetări metalurgice al Academiei R.S.R., de către un colectiv condus de prof. Șt. Mantea, stabilindu-se totodată în cazul concentratelor cuproase, emergența lui cu calcopirita.

În același program de cercetare au fost studiate separarea și identificarea carburilor, azoturilor din oțelurile refractare cu 12% Cr, complex aliate [13] și borurilor din oțelurile aliate cu bor [29]. Principalul compus care realizează durificarea dispersă este faza de tip $M_2x$ (carbura $Cr_2C$ sau nitrura $Cr_2N$), care dizolvînd cantități mari de elemente de aliere (Mo, V, Nb) este foarte stabilă într-un domeniu larg de temperaturi de revenire. Carburile și azoturile au fost izolate pe cale electrolitică și analizate chimic prin difracție electronică și roentgenostructurală.

Cercetările întreprinse pentru obținerea de elemente cu puritate înaltă au creat posibilitatea realizării în faza de laborator a unor materiale semiconductoare pe bază de materii prime indigene. S-au obținut telur de puritate înaintată [38] prin distilare în vid și topire zonară, bismut de înaltă puritate din bismutul tehnic indigen [31], indiu din subprodusele metalurgiei zincului [32], prepararea monocristalelor de indiu-stibiu etc. Pentru purificarea înaintată s-a folosit în principal metoda topirii zonare, iar pentru determinarea purității, pe lîngă metoda spectrografică s-a folosit și variația rezistivității.

Cu ajutorul acestor elemente au fost creați în fază de laborator compuși semiconductori, pe bază de telur, pentru frigidere termoelectrice [33] și compuși semiconductori In—Sb pentru traductoare magnetometrice [34]. De asemenea, au fost studiați compușii intermediari cu proprietăți semiconductoare de tipul A II B VI, arătîndu-se posibilitatea anticipării proprietăților semiconductoare ale compușilor binari și chiar mai complecși [35], [36], aliajele Sb—Zn care pot fi folosite cu succes pentru construirea bateriilor termoelectrice, stabilindu-se variația proprietăților electrice și termo-

electrice precum și dependența acestora cu structura [37]. S-au studiat aliajele Cd—Sb, care pot fi folosite ca termoelemente, seleniura de zinc [16], masele sinterizate din sistemul ZnO—$TiO_2$ [39], stabilitatea compusului semiconductor InAs [40] și altele.

Preocupările pentru obținerea de metale pure s-au extins și în alte direcții, spre exemplu magneziu metalic de puritate 99,91 din materii prime indigene [41], purificarea stibiului [42] și obținerea calciului metalic printr-o nouă metodă [43].

S-au făcut studii cu privire la existența unor componente semiconductoare la unele aliaje rezistive de tipul soluțiilor solide, la care alături de forțe interatomice de tip metalic apar și forțe de tip covalent, care se manifestă prin apariția componentei semiconductoare a proprietăților electrice.

## 3. CERCETĂRI ASUPRA TRANSFORMĂRILOR IN STARE SOLIDĂ LA ALIAJELE FE—C

Transformările în stare solidă au constituit preocuparea unor colective mai largi care au folosit diverse metode de măsurare continuă sau discontinuă a unor proprietăți fizice care variază în funcție de stadiul transformării : proprietățile magnetice, dilatarea, rezistivitatea, efectul exoterm și endoterm, difracția, duritatea etc.

Studiul structurii și proprietăților magnetice ale sistemului Fe—C—Al [45] a arătat că o serie de aliaje din această grupă au proprietăți magnetice deosebite, ceea ce face posibilă utilizarea lor în electrotehnică ca materiale magnetice dure.

Folosind măsurătorile magnetice și dilatometrice, variația durității și metoda microscopică la studiul descompunerii austenitei subrăcite, a fost stabilită cinetica descompunerii austenitei subrăcite pentru unele oțeluri carbon, oțeluri slab și mediu aliate (cca 25 oțeluri) rezultatele fiind prezentate în diagramele TTT și alte diagrame [46]—[52]. Aceste studii au adus unele contribuții la explicarea mecanismului descompunerii austenitei subrăcite în domeniul bainitic, scoțînd în evidență faptul că există un domeniu de temperatură la care se face trecerea de la cinetica formării bainitei superioare la bainita inferioară. Dilatarea globală, în timpul descompunerii izoterme a austenitei subrăcite, în domeniul bainitei inferioare, este de cca 1,5 ori mai mare decît în domeniul bainitei superioare. Modificarea alurii curbelor de început de descompunere, de descompunere parțială și de sfîrșit de descompunere ale austenitei subrăcite din diagramele TTT pentru cele două domenii ale bainitei, variația vitezei de descompunere, modificarea aspectului structurilor, variația proprietăților mecanice, dovedesc că există o cinetică diferită de formare a bainitei inferioare față de cea a bainitei superioare. Trecerea de la o cinetică la alta se face într-un interval de temperaturi, în care are loc o suprapunere a proceselor de formare a celor două varietăți de bainită. Prin studiile respective s-a arătat și influența unora

dintre elementele de aliere (spre exemplu Cr, Mn, Si) asupra descompunerii austenitei în domeniul bainitic.

Din studiile făcute asupra modificării structurii fontelor, a rezultat că structura primară la fonte constă din dendrite primare de austenită și celule eutectice. S-a stabilit influența fosforului asupra contracției liniare și că dilatarea inițială (după solidificare) la fonte este cauzată în principal de grafitizarea în stare solidă [55]. S-a stabilit legătura directă între contracția de solidificare (volumul de retasură) și mecanismul grafitizării. La fontele cu grafit nodular s-a precizat că grafitizarea are loc în principal în stare solidă, spre deosebire de fontele cu grafit lamelar [56], [57]. Au fost aduse contribuții la mecanismul modificării fontelor hipoeutectice în cazul barbotării cu gaz metan și azot [58]. Barbotarea cu gaz metan sau azot, suflat prin tuburi de grafit în fonta lichidă, duce la modificarea bruscă a formei și repartiției lamelor de grafit, adică la modificarea fontei, mecanismul modificării fiind explicat prin introducerea în fonta lichidă, în timpul insuflării, a unor particule de grafit care constituie germenii indicați pentru grafitizarea fontei.

În legătură cu structura metalelor și aliajelor au mai fost publicate lucrări privind „Studiul structurii celulare în aluminiu aliat cu cupru" [59], „Studiul roentgenografic al stratului sulfizat" [60], „Durificarea aluminiului tehnic prin trefilare la rece sau prin adaos de elemente" [61], [62], „Intensitatea de deformare asupra proprietăților mecanice" [63], „Cercetarea structurii aliajelor prin metoda radiografică" [64] și altele.

Ideea creșterii valorilor caracteristicilor mecanice prin tratamentul termomecanic a fost îmbrățișată de asemenea de diverși cercetători. S-a arătat că este posibilă creșterea valorilor de rezistență cu 15—25%, menținînd în același timp proprietăți bune de plasticitate la oțelurile carbon și slab aliate, în urma aplicării schemei de tratament termomecanic prealabil [65] sau tratament termomecanic la temperaturi înalte [66], pe oțeluri aliate cu siliciu.

## 4. CERCETĂRI PRIVIND DEFORMAREA MATERIALELOR METALICE

În domeniul deformării plastice a metalelor s-a cercetat deformarea prin laminare a fontelor cu grafit nodular, scoțîndu-se în evidență modificările structurale care apar după deformare (masa metalică de bază se îmbogățește în perlită) [67], deformarea bimetalelor prin laminare la cald, corelîndu-se factorii tehnologiei de deformare cu mărimea și natura plăcuțelor ce se laminează împreună la cald [68], determinarea lățirii libere a metalelor neferoase în cazul laminării cu cilindrii necalibrați [69]. De asemenea s-a studiat influența regimurilor de laminare la rece a tablelor de transformator privind gradul de texturare și influența acestuia asupra proprietăților electrice și magnetice [70].

## 5. COROZIUNEA METALELOR ŞI ALIAJELOR

În domeniul coroziunii s-au obţinut unele rezultate interesante. Cercetările asupra coroziunii tablei din oţel austenitic cu 20% Cr, 9% Ni şi adaose de Ti, au arătat că după laminare se separă ferita în şiruri care modifică comportarea la coroziune a oţelului respectiv. De asemenea, în urma deformării plastice a fontelor, datorită modificărilor structurale, coroziunea este preferenţială [71]. Efectul pasivizant al cuprului conţinut în oţel nu se manifestă în toate cazurile după cum se credea ; spre exemplu în condiţiile atmosferii industriale de la Hunedoara, datorită gazelor de la cocserie, efectul pasivizant nu se manifestă [72]. Oţelurile Cr—Mn—Ni—N, după stabilizarea cu niobiu, se comportă diferit la coroziune [73] în urma tratamentului termic sau deformării plastice. De asemenea, adaosul de molibden modifică rezistenţa la coroziune intergranulară a oţelului Cr—Mn—Ni—N, cu condiţia ca alierea cu molibden să asigure o structură bifazică austenito-feritică [74] oţelului. Rezultate interesante au fost obţinute şi asupra oţelurilor inoxidabile feritice cu 17—18% Cr [75].

## 6. CERCETĂRI IN DOMENIUL METALURGIEI PULBERILOR

Produsele metalurgiei pulberilor au dobîndit un rol hotărîtor în unele domenii ale tehnicii, cum ar fi : industria electrotehnică şi electronică, construcţia de maşini, tehnica nucleară, tehnica zborului cosmic, industria chimică şi altele. Cercetările ştiinţifice în acest domeniu se intensifică mereu, iar în ţara noastră ele s-au dezvoltat atît în institutele de cercetări, cît şi în catedrele de specialitate din învăţămîntul tehnic superior.

Astfel, în cadrul Centrului de cercetări metalurgice al Academiei RSR, s-au efectuat cercetări asupra fierului poros pentru cuzineţi [76]—[78] stabilindu-se parametrii unor tehnologii raţionale, utilizînd ca atmosferă de sinterizare gaz metan parţial ars ; pentru îmbunătăţirea rezistenţei la uzură s-au iniţiat cercetări originale de sulfizare, obţinîndu-se proprietăţi comparabile cu acelea ale bronzurilor [77].

O serie de cercetări fundamentale referitoare la cinetica sinterizării au fost efectuate prin măsurători de rezistivitate electrică, stabilindu-se corelaţia între evoluţia procesului de sinterizare şi variaţia rezistivităţii [79], [80].

În cadrul Institutului ICEM s-a urmărit mai ales aspectul practic al problemei. Cercetările în fază laborator şi pilot au condus la definitivarea tehnologiilor pentru realizarea pulberilor de fier, cupru, zinc, staniu, aluminiu, folosindu-se metode de pulverizare a metalului lichid sau metode electrolitice.

Din categoria produselor sinterizate, cercetările s-au orientat iniţial în direcţia obţinerii materialelor cu porozitate controlată : lagăre autoungă-

toare pe bază de bronz sau fier grafitat, filtre metalice pe bază de pulberi sferice de bronz, piese mecanice feroase sau neferoase. Ulterior, activitatea s-a desfășurat pe direcții noi și anume :

— realizarea materialelor de fricțiune din pulberi metalice, cu proprietăți de rezistență la uzură și coeficient de frecare ridicat, rezultate pozitive obținîndu-se prin utilizarea sinterizării sub presiune [120]—[122];

— obținerea aliajelor dure, a căror utilizare cuprinde industria metalurgică (filiere, piese de extrusie), industria constructoare de mașini (armarea sculelor aşchietoare), industria minieră (armarea capetelor de burghie); rezultate la nivelul celor mai bune produse importate, s-au realizat prin sinterizarea în vid pe utilaje proiectate și construite în ICEM [123], [124];

— îmbunătățirea caracteristicilor produselor sinterizate, prin studiul influenței adaosurilor metalice sau nemetalice sau a tratamentelor termice și termomecanice [123].

Activitatea de cercetare cea mai intensă în domeniul metalurgiei pulberilor, s-a dezvoltat în cadrul Catedrei de tehnologia metalelor de la Institutul politehnic Cluj, condusă și orientată de prof. emerit ing. Domșa Alexandru. Pe lîngă asigurarea unei baze proprii de laborator s-a creat aci un adevărat curent, am putea spune o școală românească de metalurgia pulberilor, recunoscută și peste hotare.

Problemele atacate sînt multiple. Mai întîi în domeniul pulberilor de fier au fost întreprinse cercetări de elaborare, valorificînd două materii prime ieftine și abundente : scoriile și gazul metan. Procedeul folosit și care a suscitat un viu interes științific, se generalizează în prezent atît pentru obținerea altor pulberi metalice ca W, Mo etc. și pentru fabricarea buretelui de fier în scopuri metalurgice, cît și pentru utilizarea hidrocarburilor în general, ca mediu reducător.

Plecînd de la constatarea că valorificarea molibdenului în vederea obținerii unor materiale cu înaltă refractaritate este mai rentabilă decît utilizarea sa în sectorul siderurgic, cercetările au fost orientate spre obținerea de pulberi de molibden de granulație determinată, folosite apoi la sinteza bisulfurii de molibden, unul din lubrifianții solizi de mare performanță.

Studiind procesele de măcinări mecanice, au fost aduse completări teoriei Rosin-Rammler, au fost concepute noi utilaje mai eficiente, unele caracterizate ca invenție. Obținerea pulberilor prin pulverizare din fază lichidă, a condus și la unele concluzii în privința proceselor de sferoidizare a pulberilor. S-a elaborat un procedeu în ciclul complex de pulverizare cu jeturi multiple de apă, oxidare continuă și reducere, pentru obținerea unor pulberi metalice fine și ultrafine. Acestea din urmă, pe lîngă utilizarea lor industrială, prezintă interes sub aspectul cercetării fundamentale a fenomenelor de sinterizare.

Cercetările privind elaborarea aliajelor dure din pulberi metalice au dus la stabilirea unor procese tehnologice, mai ales de presare la cald, care au permis obținerea unor piese de formă complicată și cu caracteristici

superioare de duritate și compactitate. Au fost studiate procese pentru confecționarea diferitelor scule, precum și realizarea unor pulberi de granulație foarte fină, influența lor asupra proprietăților finale ale materialului dur, cît și găsirea unor metode de determinare a compoziției granulometrice și de sortare a pulberilor.

S-a cercetat de asemenea asocierea pulberilor de fier cu pulberi de cupru, sau cu pulberi de molibden și cupru, obținîndu-se piese de mașini de înaltă rezistență. Aspectele teoretice ale acestor procese au fost clarificate prin studii privind rolul inhibitor al cuprului în procesele de sinterizare, privind difuziunea carbonului de fier, precum și efectele favorabile ale alierii fierului cu molibden în timpul sinterizării.

În domeniul materialelor sinterizate din metale neferoase, colectivul a obținut rezultate interesante în cercetările privind perfecționarea compozițiilor și tehnologiei de elaborare a bronzurilor sinterizate, a aluminiului sinterizat și a diferitelor pseudoaliaje de tipul: Metal-Oxizi metalici, sau Metal-Grafit, sau în sfîrșit materiale obținute prin impregnarea unui schelet poros cu o topitură avînd punctul de fuziune inferior temperaturii de sinterizare a scheletului metalic.

Ca principale aplicații industriale s-au realizat următoarele: o stație pilot de fabricare a pulberilor de fier, alături de care este în curs de punere în funcțiune o fabrică de pulberi de fier cu o capacitate de 600 t/an; o stație pilot de prelucrare a produselor pe bază de molibden și de sinteză a bisulfurii de molibden; o unitate semiindustrială de fabricație a pieselor de mașini sinterizate pe bază de fier și fier-cupru-grafit.

În bibliografia alăturată [81]—[119] sînt citate unele din principalele lucrări realizate de colectivul de metalurgia pulberilor care lucrează la Institutul politehnic Cluj.

## BIBLIOGRAFIE


1. Cristea Nicolescu-Otin (1910—1913): Contribuții la metalurgia antică a cuprului, Publ. Acad. Rom. „Vasile Adamache", 5, 397—473.
2. Tr. Negrescu, A. Westgren, G. Phrogman (1928): On the structure of iron, chromium and carbon alloys, Yr. *Iron and Steel Inst.*, London, *1*, 383—400.
3. Tr. Negrescu (1920): Recherches experimentales d'analyse spectrale quantitative sur les alliages Métalliques (These, Paris 1927), *Les Presses Universitaires des France*, Paris.
4. Tr. Negrescu, Șt. Mantea (1933): Alame obișnuite și alame speciale, *Bul. Soc. Politehnice*, *5*, 395—420.
5. Tr. Negrescu, Șt. Mantea (1933): Bronzuri obișnuite și bronzuri speciale, Bul. Soc. Politehnice, *9*, 642—679.
6. Alex. Rău (1933): Einfluss der Ausgangkorngrösse auf die Endkorngrösse der Kristalle bei der Rohkristallisation, *Bul. Sc. Politehnica Timișoara*, *1*, 122—129.
7. Șt. Mantea (1936): *Atlas metalografic și colecție de structuri*, vol. I: Fonte și oțeluri ordinare și speciale, vol. II: Metale și aliaje neferoase.
8. Tr. Negrescu (1951): Puterea desulfurantă a zgurilor de furnal înalt. I — Capacitatea de absorbție pentru sulf a zgurilor silico-calco-aluminoase, la 1 500°. *Bul. Șt. Acad. R.P.R*, *3*, 381—401.

9. Tr. Negrescu — Ditto — II: (1952): Capacitatea de absorbție pentru sulf a zgurilor silico-calco-magneziene. *Bul. Șt. Acad. R.P.R.*, **4**, 271—282.
10. Tr. Negrescu — Ditto — III (1956): Capacitatea de absorbție, pentru sulf a zgurilor sistemului $SiO_2$—$Al_2O_3$—CaO, în stare lichidă, la 1 460 °C și 1 550 °C. *Stud. Cerc. I*, 1, 49—64.
11. Tr. Negrescu — IV (1956): Influența adaoselor de MgO asupra puterii desulfurante a zgurilor sistemului $SiO_2$—CaO—$Al_2O_3$ în stare lichidă, la 1 525 °C și 1 575 °C. *Stud. Cercet. Met. I*, 283—296.
12. Tr. Negrescu — V (1957): Capacitatea de absorbție pentru sulf, a zgurilor sistemului $SiO_2$—CaO—FeO, în stare lichidă la 1 500 °C. *Stud. Cercet. Met.*, **2**, *1*, 37—68.
13. Tr. Negrescu — VI (1957): Capacitatea de absorbție, pentru sulf, a zgurilor sistemului $SiO_2$—CaO—MnO, în stare lichidă, la 1 425 °C. *Stud. Cercet. Met.*, **2**, *3*.
14. Tr. Negrescu — Ditto, VII (1957): Capacitatea de absorbție, pentru sulf, a zgurilor sistemului $SiO_2$—CaO—BaO, în stare lichidă, la 1 500 °C. *Stud. Cercet. Met.*, **2**, *4*.
15. Tr. Negrescu — Ditto, VIII (1957): Capacitatea de absorbție, pentru sulf, a zgurilor sistemului CaO—$Al_2O_3$, în stare lichidă, la 1 500 °C. *Comunicare sesiunea Academiei R.P.R. din septembrie.*
16. Tr. Negrescu și Maria Bolgiu (1953): Puterea oxidantă a zgurilor elaborării oțelurilor. — I. Relațiuni de echilibru în zgurile sistemului $SiO_2$—MgO—FeO—$Fe_2O_3$, în stare lichidă, la 1 600°, în absența fierului metalic. *Rev. Univ. „C. I. Parhon"*.
17. Tr. Negrescu — Ditto — II (1954): Relațiuni de echilibru în zgurile sistemului $SiO_2$—CaO—MgO—FeO—$Fe_2O_3$, în stare lichidă, la 1 650 °C, în absența fierului metalic. *Bul. Inst. Polit.*, Buc.
18. Tr. Negrescu și Maria Bolgiu — Ditto III (1957): Relații de echilibru în zgurile sistemului $SiO_2$—CaO—MgO—FeO—$Fe_2O_3$, în stare lichidă, în creuzete deschise, la 1 550 °C și 1 650 °C, în absența fierului metalic. *Bul. Inst. Polit.*, București.
19. Tr. Negrescu și Maria Bolgiu (1956): Recherches expérimentales sur le pouvoir oxydant des scories d'affinage. *Revue de Métallurgie de l'Academie R.P.R.* **1**, 5—32.
20. Tr. Negrescu (1956): Relații cantitative corespunzătoare echilibrului zgurilor lichide din creuzetele furnalelor înalte (în limba rusă). *Conferința asupra tehnicii experimentale și a metodelor de cercetare la temperaturi înalte*, Moscova.
21. Tr. Negrescu (1957): Fundamentele structurale ale activităților termodinamice și ale reacțiunilor diferiților oxizi în zgurile metalurgice (în limba rusă). *Cea de a treia Conferință asupra fizico-chimismului elaborării oțelurilor*, Moscova.
22. Șt. Mantea, M. Petrescu, V. Triță (1959): Prezența germaniului în unele huile și ligniți românești, *Stud. cercet. met.*, **4**.
23. J. Buzincu, M. Petrescu (1956): Determinarea spectrografică cantitativă a germaniului și indiului în minereuri. *Stud. cerc. met.*
24. J. Buzincu, M. Nicolaid (1956): Determinarea conținutului de magneziu în fontele cu grafit nodular, pe cale spectroscopică, *Stud. cercet. met., 1.*
25. N. Petrescu, M. Protopopescu, M. Someșan (1962): Obținerea monocristalelor de InSb și studiul repartițiilor dislocațiilor în ele. *Stud. cercet. met. 2.*
26. V. Rittenberg, I. Schițeanu (1960): Contribuții la punerea în evidență a dislocațiilor în monocristale de siliciu, *Stud. cercet. met.* **2**.
27. V. Rittenberg, I. Schițeanu (1962): Dislocații și macle în monocristale de siliciu obținute prin metoda topirii zonare, *Stud. cercet. met.*, **1**.
28. D. Cosma, V. Nedelcovici, H. Hubert, Șt. Baicu (1964): Cercetări privind oțelurile refractare cu 12% Cr, *Stud. și cercet. met.*, **1**, *Culegere ICEM*, **6** (1964) **7** (1965).
29. B. Rotenștain, N. Drăgan, L. Staicu, H. Hubert (1963): Influența lucrului asupra descompunerii izoterme a austenitei, *Stud. cercet. met.*, **2**.

30. N. Petrescu, M. Protopopescu, D. Drimer (1960): Purificarea înaintată a telurului. *Stud. cercet. met.*, 1.
31. C. Cleper (1961): Bismut de înaltă puritate pentru aliaje semiconductoare. *Stud. cercet. met.*, 3.
32. N. Petrescu, E. Ilinescu, I. Toth, I. Voiculescu (1960): Extragerea indiului din subprodusele metalurgiei zincului în R.P.R. *Stud. cercet. met.*, 4.
33. M. Protopopescu, N. Petrescu (1962): Aliaje semiconductoare pe bază de telur pentru frigidere termoelectrice. *Stud. cercet. met.*, 1.
34. M. Protopopescu, N. Petrescu, D. Drimer, A. Moroianu (1961): Compusul semiconductor InSb pentru traductoare magnetometrice. *Stud. cercet. met.*, 4.
35. T. Dulămiță, D. Drimer, E. Fokt (1959): *Studii și cercetări de metalurgie*, 4.
36. E. Cruceanu, S. Ionescu-Bujor (1963): Relații între microduritate, lărgimea benzii interzise și distanța interatomică la compușii A II, BVI. *Stud. cercet. met.*, 4.
37. M. Protopopescu, D. Drimer, E. Foct, T. Dulămiță (1959): Caracteristici semiconductori la aliajele stibiu-zinc. *Stud. cercet. met.*, 1, 3.
38. I. D. Cistiakov, E. Cruceanu (1960): Obținerea și studierea cîtorva proprietăți ale seleniurii de zinc. *Stud. cercet. met.*, 4.
39. P. Baltă, F. Oprea (1962): Proprietăți semiconductoare ale maselor sinterizate din sistemul $ZnO—TiO_2$. *Stud. cercet. met.*, 4.
40. N. Petrescu, Șt. Zămîrcă, M. Someșan (1964): *Studii și cercetări de metalurgie*, 1.
41. Șt. Manzea, N. Petrescu (1960): Extragerea magneziului din dolomite prin reducere silico-termică. *Stud. cercet. met.*, 2.
42. C. Cleper (1962): Purificarea înaintată a stibiului tehnic. *Stud. cercet. met.*, 2.
43. Șt. Mantea, N. Petrescu (1960): Obținerea calciului metalic din aliaje industriale comune. *Stud. cercet. met.*, 3.
44. T. Dulămiță, D. Dimer, E. Foct (1958): Cu privire la existența unei componente semiconductoare a proprietăților electrice la unele aliaje rezistive de soluții solide. *Stud. cercet. met.*, 2.
45. N. Geru, P. Iliescu, A. Moroianu, E. Cruceanu (1957): Structura și proprietățile magnetice ale unor aliaje din sistemul Fe—C—Al. *Stud. cercet. met.*, 4.
46. B. Rotenștein, N. Drăgan (1959): Contribuții la studiul recristalizării austenitei în oțeluri supraîncălzite. *Stud. cercet. met.*, 4.
47. B. Rotenștein, N. Drăgan (1963): Descompunerea izotermă a austenitei în oțeluri de rulmenți. *Stud. cercet. met.*, 3.
48. N. Drăgan (1961): Observații asupra descompunerii izoterme a austenitei în oțeluri cu Cr, Si, Mn, în domeniul superior al intervalului intermediar. *Stud. cercet. met.*, 3.
49. N. Drăgan (1962): Contribuții la studiul descompunerii izoterme în intervalul bainitic a austenitei din oțelurile slab aliate. *Stud. cercet. met.*, 4.
50. B. Rotenștein, N. Drăgan și alții (1963): Contribuții la studiul transformării austenitei subrăcite în oțelurile carbon. *Stud. cercet. met.*, 4.
51. B. Rotenștein, L. Staicu (1964): Modificări structurale la transformarea izotermă a austenitei într-un oțel Cr—Si—Mo cu 5% Cr. Stud. cercet. met., 2.
53. C. Ionescu, Tr. Dumitrescu, M. Solacolu (1963): Aspecte ale procesului de formare a bainitei în cîteva oțeluri carbon Fe—C—Mn. *Stud. cercet. met.*, 2.
54. C. Ionescu, Tr. Dumitrescu, A. Guțu (1964): Asupra proprietăților mecanice ale structurilor de transformare izotermă a austenitei pentru cîteva oțeluri slab aliate. *Stud. cercet. met.*, 2.
55. L. Sofroni, R. Todorov, Gh. Koșovnik (1958): Influența magneziului asupra contracției fontelor. *Stud. cercet. met.*, 3.
56. L. Sofroni, E. Nicoloiu (1963): Cercetări privind descompunerea gazului metan în timpul barbotării în fonta lichidă. *Stud. cercet. met.*, 2.

57. L. Sofroni, R. Todorov (1958): Contribuții la studiul formării retasurilor în fonte. *Stud. cercet. met.*, 2.
58. L. Sofroni, C. Cosneanu ș. a. (1962): Considerații privind conținutul de gaze și incluziuni în fontele brute. *Stud. cercet. met.*, 1.
59. N. Petrescu, M. Someșan (1963): Contribuții la studiul substructurii celulare în aluminiul aliat cu cuprul. *Stud. cercet. met.*, 3.
60. A. Kathrain, Gh. Suceveanu (1961): Studiul roentgenografic al stratului sulfizat la oțeluri. *Stud. cercet. met.*, 2.
61. M. Protopopescu (1957): Despre cinetica fenomenului de pre-precipitare într-un aliaj de Sb—Al. *Stud. cercet. met.*, 3.
62. M. Protopopescu (1956): Contribuții la studiul verificării aluminiului tehnic prin aliere cu mici procente de elemente de adaos. *Stud. cercet. met.*, 4.
63. R. Fischhold, N. Drăgan (1962): Influența intensității de deformare asupra proprietăților tablelor subțiri deformate la cald. *Stud. cercet. met.*, 1.
64. A. Kathrain, N. Petrescu ș. a. (1958): Aspecte noi în cercetarea structurii aliajelor prin autoradiografie. *Stud. cercet. met.*, 3.
65. I. Drăgan ș. a. (1966): Considerații privind caracteristicile de deformabilitate la cald ale oțelurilor inoxidabile. *Rev. Metalurgia*, 1.
66. N. Sasu (1964—1966): Influența tratamentului termomecanic la temperaturi superioare asupra proprietăților mecanice, microstructurii și structurii cristaline fine ale oțelurilor. *Stud. cercet. met.* (1964): 2, (1965): 1, 2, (1966): 1.
67. I. Drăgan, C. Rizescu (1959): Cercetări asupra posibilității de deformare prin laminare a fontelor cu grafit nodular. *Stud. cercet. met.*, 1.
68. R. Fischhold, I. Drăgan (1959): Contribuții la studiul deformării bimetalelor prin laminare la cald. *Stud. cercet. met.*, 3.
69. R. Niculescu, I. Drăgan ș. a. (1956): Determinarea lățirii libere a metalelor neferoase în cazul laminării cu cilindrii necalibrați. *Stud. cercet. met.*, 1, 2.
70. I. M. Pavlov, I. Drăgan (1963): Influența regimurilor de reducere la rece asupra proprietăților electrice, magnetice și a gradului de texturare a tablelor de transformator. *Stud. cercet. met.*, 4.
71. I. Cornea, Șt. Zămîrcă (1958): Influența tratamentului termic asupra influenței la coroziune a tablelor de oțel inoxidabil, 20/9 cu titan. I. Coroziunea în atmosferă la temperaturi ridicate. *Stud. cercet. met.*, 1.
72. I. Cornea, Șt. Zămîrcă (1958): Influența deformării plastice asupra coroziunii fontelor cu grafit nodular laminate. *Stud. cercet. met.*, 4.
73. I. Cornea, Șt. Zămîrcă (1962): Unele aspecte ale coroziunii atmosferice în centrele metalurgice din R.P.R. *Stud. cercet. met.*, 2.
74. D. Cosma, E. Iliescu, L. Balaban (1965): *Culegere ICEM*, 7.
75. E. Iliescu, L. Balaban (1965): *Culegere ICEM*, 7.
76. G. Dan, O. Ștefan, A. Protopopescu (1956): Studii experimentale în vederea stabilirii condițiilor de obținere a fierului poros pentru cuzineți. *Stud. cercet. met.*, 2.
77. G. Dan, O. Ștefan, A. Protopopescu (1957): Studii asupra sinterizării pulberii de fier în vederea obținerii unor produse cu proprietăți ridicate de rezistență la uzură. *Stud. cercet. met.*, 4.
78. G. Dan, A. Protopopescu, O. Ștefan (1959): Cercetări asupra unor atmosfere de sinterizare pentru produse feroase bazate pe arderea incompletă a gazului metan. *Stud. cercet. met.*, 2.
79. G. Dan, A. Protopopescu (1959): Folosirea rezistivității electrice ca măsură a gradului de sinterizare. *Stud. cercet. met.*, 3.
80. G. Dan, O. Ivanciu (1960): Asupra obținerii electrolitice pe catod de mercur a unei pulberi de fier pentru aplicații magnetice. *Stud. cercet. met.*, 2.
81. G. Dan, A. Protopopescu, O. Ivanciu (1960): Rezistivitatea electrică ca măsură a gradului de sinterizare. *Stud. cercet. met.*, 3.
82. A. Domșa, G. Müller (1955): Contribuții la problema elaborării pulberilor metalice. *Bul. științ.* IPC, *1.*

83. A. Domșa, V. Moldovan, V. Nicolae (1957): Asupra utilizării lubrifianților la presarea pulberilor metalice. Stud. cercet. met., Acad. R.P.R., 2, 1—2.
84. A. Domșa și colectivul (1957): Asupra folosirii încălzirilor prin curenți de înaltă frecvență pentru sinterizarea pulberilor metalice. *Stud. cercet. met.*, **2**, *1, 2.*
85. A. Domșa, G. Müller (1957): Utilizarea foițelor de arsură pentru confecționarea pieselor de mașini prin metalurgia pulberilor. *Stud. și cercet. met., 1—2.*
86. A. Domșa și colectivul (1958): Contribuții la problema elaborării pulberilor metalice. *Buletinul științific al IPC*, **1**.
87. A. Domșa, A. Palfalvi, L. Botha (1959): Cercetări experimentale asupra caracteristicilor pulberilor provenite din oțel de rulmenți și stabilirea domeniului de utilizare. *Bul. științ. IPC*, **2**.
88. A. Domșa și colectivul (1958): Cercetări asupra elaborării pieselor de contact sinterizate pentru circuite electrice. *Stud. cercet. met.*, **4**.
89. A. Domșa și colectivul (1960): Asupra procesului de dezintegrare a unor materiale de plasticitate ridicată în moara cu vîrtej IPC. *Bul. științ. IPC*, **3**.
90. A. Domșa, A. Palfalvi (1959): Cercetări în domeniul obținerii pulberilor de fier tip FREM. *Stud. cercet. met.*, **1**.
91. A. Domșa și colectivul (1961): Cercetări asupra utilizării unor pulberi de aluminiu pentru elaborarea pieselor de mașini. *Bul. științ. IPC*, **4**.
92. A. Domșa, L. Botha, A. Palfalvi (1962): Asupra decarburării și reducerii simultane a unor pulberi de fier. *Bul. științ. IPC*, **5**.
93. V. Nicolae, S. Berkovits (1962): Asupra pulverizării metalelor din fază lichidă cu jeturi multiple de apă. *Bul. științ. IPC*, **5**.
94. A. Domșa și colectivul (1962): Segmenți de piston din pulberi metalice. *Stud. cercet. met.*, Acad. R.P.R., **3**.
95. A. Domșa și colectivul (1962): Contribuții la elaborarea materialelor Fe-grafit și Fe-Cu-grafit. *Stud. cercet. met.*, **4**.
96. A. Domșa, L. Botha, A. Palfalvi (1962): Contribuții la elaborarea pulberilor magnetice utilizate în tehnica agricolă. *Stud. cercet. met.*, **1**.
97. A. Domșa și colectivul (1963): Contribuții la fabricarea filierelor din aliaj dur de carbură de wolfram și cobalt. *Bul. științif. IPC*, **6**.
98. A. Domșa (1963): Uber die Verwertung der Molybdänerze durch pulvermetallurgische *Komitet Hutnictwa*, Krakow, **3**.
99. A. Domșa și colectivul (1963): Contribuții la studiul și dozarea granulometrică a pulberilor sub domeniul de sortare al sitelor. *Bul. științ. IPC*, **6**.
100. L. Szabo, Z. Spârchez (1964): Contribuții la studiul obținerii molibdatului de sodiu. *Bul. științ. IPC*, **7**.
101. L. Szabo și colectivul (1964): Stud. reducerii trioxidului de molibden și caracteristicile pulberii de Mo obținute. *Bul. științ. IPC*, **7**.
102. A. Domșa, L. Szabo, Z. Spârchez (1964): Obținerea bisulfurii de Mo sintetice și unele caracteristici ale ei. *Bul. științ. IPC*, **7**.
103. A. Domșa și colectivul (1964): Studiul funcționării ridicate a materialelor antifricțiune sinterizate, lubrifiante cu $MoS_2$. *Bul. științ. IPC*, **7**.
104. A. Domșa și colectivul (1964): Proprietățile de presare și de sinterizare a pulberilor de molibden. *Bul. științ. IPC*, **7**.
105. A. Domșa și colectivul (1964): Der Einfluss von Kupferzusätzen auf die Lagereigenschaften von gesinterten Eisen-Graphit-Werkstoffen. *Neue Hütte*, R.D.G., **9**.
106. A. Domșa, S. Berkovits, V. Nicolae (1965): Studiul elaborării unor produse din aliaje dure pe bază de carbură de W, prin presare la cald. *Bul. științ. IPC*, **8**.
107. V. Nicolae, A. Domșa (1965): Elaborarea pulberilor metalice prin coroziune oxidantă și reducere. *Bul. științ. IPC*, 8.
108. V. Nicolae și colectivul (1965): Elaborarea pulberii fine de cupru prin pulberizare, oxidare și reducere. *Bul. științ. IPC*, **8**.
109. A. Palfalvi (1965): Pneumatische Methode zur Feststellung der wahren Dichte pulverförmiger Materialien. *Bericht über die III. Internationale Pulvermetallurgische Tagug in Eisenach*, vom 13—15. Mai.

110. A. Domşa şi colectivul (1965): Herstellung von Eisenpulvern durch direkte Reduktion mit Methan. *III. Internationale Pulvermetallurgische Tagung.* Akademie-Verlag, Berlin, R.D.G.
111. A. Domşa şi colectivul (1965): *Kintecs of the Direct Reduction of Ferrous Oxides with Methan Gas.* Modern Developments in Powder Metallurgy, vol. I, New York.
112. V. Nicolae (1966): Über den Zusammenhang zwischen dem Herstellungsverfahren der legierten Sinterwerkstoffe und ihrer Sinterdauer. *III. Internationale Tagung über Pulvermetallurgie,* Acad. Praha, R.S.C., **4.**
113. L. Botha (1966): Beiträge zur Herstellung disperser Sinterwerkstoffe aus zerstäubten Pulvern durch vielfache Wasserstrahlen. *II. Internationale Tagung über Pulvermetallurgie.* Acad. Praha, R.S.C., **4.**
114 A. Domşa, Z Spârchez (1966): Über die Reduktion der Eisenoxyde direkt mit Methangas unter verschiedenen technologischen Bedingungen. *Abhandlungen der II. Internationalen Pulvermetallurgischen Tagung,* Stary Smokovec, R.S.C., Editura Akademi, Praga, vol. IV.
115. A. Domşa şi colectivul (1966): Über die Fülldichtesteigerung der FREM-Eisenpulver, *Convegno Naţionale AIM,* Bari, Italia, 5.—9. November.
116. A. Domşa, L. Botha (1967): Contribuţii la metoda încercărilor de rezistenţă a pieselor poroase inelare sinterizate. *Studii şi cercet. de met.,* **1.**
117. A. Domşa, Z. Spârchez (1967): Reducerea oxizilor de fier în echicurent de gaz metan. Volumul: *Sesiunea a VII-a de comunicări ştiinţifice ICEM,* Bucureşti, din 19—21 ian.
118. A. Domşa şi colectivul (1967): Contribuţii la elaborarea carburii de molibden ($Mo_2C$). *Bul. ştiinţ. IPC,* **9.**
119. A. Domşa, I. Schmidt (1967): Asupra contracţiei materialelor sinterizate din pulberi de fier (tip FREM). *Bul. ştiinţ. IPC,* **9.**
120. P. Herşcovici, V. Manolache, A. Storin (1961): Materiale de fricţiune din pulberi metalice sinterizate.
121. O. Herşcovici, V. Manolache, A. Storin (1963): Materiale de fricţiune sinterizate pe bază de pulbere de cupru. *Culegere ICEM.*
122. P. Herşcovici şi colectiv (1966): Produse sinterizate pentru industria siderurgică. *Studiu.*
123. S. Radu, C. Zamfirescu (1962): Fabricarea plăcuţelor dure metaloceramice pentru scule aşchietoare. *Studiu.*
124. S. Radu, C. Zamfirescu (1964): Aliaje dure pe bază de carbură de wolfram. *Studiu.*
125. P. Herşcovici şi colectiv (1965): Cercetări în domeniul pulberilor şi pieselor. *Studiu.*

# ASPECTE ALE CERCETĂRII ÎN DOMENIUL ÎNCERCĂRILOR DE METALE LA NOI ÎN ȚARĂ

Odată cu începuturile industrializării în țara noastră, la începutul secolului al XIX-lea, apar primele laboratoare de încercări de materiale ca o necesitate primordială în controlul materialelor utilizate în construcțiile care reclamau o siguranță în funcționare. Într-o monografie a uzinelor de fier și domeniilor Reșița se arată că în timpul revoluției din 1848 exista o sală de încercări fizice la fabrica de tunuri, iar la sfîrșitul secolului trecut una din secțiile uzinelor era laboratorul care a funcționat la început în orașul Oravița, iar în anul 1880 a fost mutat la Reșița.

Necesitatea controlului prin încercări mecanice a materialului folosit în construcția monumentalului pod de la Cernavodă peste Dunăre, care poartă numele constructorului său, temerarul inginer român Anghel Saligny, a condus la înființarea primului laborator de acest fel, în cadrul fostei școli de poduri și șosele, azi Institutul politehnic „Gheorghe Gheorghiu-Dej" din București, dotat cu o mașină de încercat, de 70 Mgf tip Werder.

Odată cu dezvoltarea industriei se înjghebează primele laboratoare uzinale, pe lîngă întreprinderile particulare mai mari, cum a fost laboratorul industriei petroliere din Ploiești și altele. Dezvoltarea industriei metalurgice, după primul război mondial, imprimă și în acest domeniu o extindere a activității. Întreprinderi mai mari din București, Brașov, Arad, Cîmpia Turzii și din alte localități înființează laboratoare pentru a putea satisface exigențele caietelor de sarcini pentru livrări mai importante, dar în afara încercărilor curente de recepție, alte preocupări cu caracter de cercetare în acest domeniu nu sînt susținute și numai arareori s-au abordat și publicat în puținele reviste tehnice existente în aceea perioadă lucrări cu caracter de cercetare, legate de problemele industriei constructoare de mașini sau de metodologia cercetărilor în domeniul încercărilor de metale.

Laboratorul de încercări de materiale al Școlii politehnice din București și-a dezvoltat activitatea sub conducerea profesorului E. Filipescu, în special în domeniul încercărilor materialelor de construcții. În anul 1921, în al doilea an de funcționare a Școlii politehnice din Timișoara, ia ființă Catedra de rezistența materialelor, la care a fost numit profesorul Ing. C. C. Teodorescu. Prin grija eminentului om de știință, profesor Traian Lalescu, primul rector al Școlii politehnice din Timișoara și a succesorului său ca rector, Acad. V. Vîlcovici, se începe procurarea utilajelor necesare dotării acestui laborator

dat în folosință la deschiderea cursurilor, în toamna anului 1923. Față de lipsa altor laboratoare de încercări de materiale, atît în orașul Timișoara, cît și în regiune, laboratorul a fost solicitat în decursul anilor să facă analize și încercări din cele mai variate. Laboratoarele de rezistența materialelor ale Școlii politehnice din București și Timișoara s-au ocupat și cu elaborarea unor lucrări cu caracter de cercetare în domeniul încercărilor de materiale.

În atelierele tramvaielor din Timișoara, Dr. Ing. C. Mikloși a organizat un laborator cu utilaje construite în cadrul acestor întreprinderi, pe baza unor concepții originale. Între această unitate și laboratorul de rezistență și încercări de materiale de la Politehnica Timișoara a existat în perioada 1925—1954 o permanentă colaborare. În cadrul acestei colaborări se execută, în anul 1925, prima lucrare prin care activitatea depusă în acest domeniu s-a afirmat peste hotarele țării cu prilejul unui Congres internațional [158].

În anii 1928 se înființează Institutul de cercetări al căilor ferate române, pentru acoperirea nevoilor acestei instituții, cu o Secție pentru cercetarea proprietăților metalelor.

O dată cu înființarea în 1928 a noii Asociații Internaționale pentru încercarea materialelor cu sediul la Zürich, s-a constituit în țara noastră Asociația Română pentru încercări de materiale sub președinția prof. Vasilescu-Karpen [297], [314], [317].

După actul istoric de la 23 august 1944, amploarea problemelor ridicate de industrializarea socialistă a țării impune organizarea unităților de cercetare departamentale specializate și în noile întreprinderi a laboratoarelor uzinale.

În anul 1953 se înființează la Timișoara un serviciu pentru sprijinirea activității laboratoarelor uzinale ale întreprinderilor Ministerului Industriei Grele, în cadrul filialei Timișoara a Institutului de proiectări de mașini. În toamna anului 1954 acest serviciu a fost încadrat ca o unitate a Oficiului de Stat pentru metrologie, în Centrul de metrologie Timișoara.

Tot în 1953 a luat ființă colectivul de mecanică generală al Bazei de cercetări științifice din Timișoara a Academiei R.S. România, azi Secția de oboseală și de rupere fragilă a Centrului de cercetări tehnice.

În anul 1954 s-a înființat Institutul de cercetări al Ministerului de metalurgie. Secția de utilizare rațională a oțelurilor din acest institut se ocupă cu cercetări în domeniul proprietăților metalelor.

Pe lîngă aceste unități, profilate pe disciplina de încercări și cercetări de metale, mai desfășoară o activitate intensă în acest domeniu laboratoarele catedrelor de rezistența materialelor și numeroase laboratoare de uzină.

*
* *

Încercările de metale au devenit astăzi dintr-un capitol al rezistenței și tehnologiei materialelor, o disciplină de sine stătătoare, întrucît industria modernă folosind materiale din ce în ce mai diversificate, reclamă cunoașterea proprietăților determinante ale acestora, care la rîndul lor impun dezvoltarea

de metodologii noi prin trecerea de la cercetările la scară macroscopică la cercetări la scară microscopică, îmbinîndu-se astfel disciplina încercărilor de materiale cu fizica solidului.

În cadrul Consfătuirilor de sudură și încercări de metale din 1955, 1956, 1959, 1962, 1965 organizate în Timișoara, specialiștilor din țara noastră li s-a oferit un prilej binevenit de a prezenta și dezbate lucrări din acest domeniu. Cu ocazia celor din anii 1959, 1962 și 1965 și participanții din alte țări au putut cunoaște activitatea ce se desfășoară în acest domeniu în patria noastră, înregistrînd și progresul de la o conferință la alta [336], [337], [339], [340], [341].

De asemenea s-a publicat și o monografie asupra cercetărilor întreprinse în perioada 1923—1965 în domeniul încercărilor de metale în orașul Timișoara [210], precum și un manual de specialitate „Încercări și analize de metale" [211].

În cele ce urmează se trec în revistă pe baza bibliografiei anexate principalele lucrări de cercetare efectuate și publicate la noi în țară.

* * *

Prima lucrare în legătură cu încercarea metalelor s-a publicat în anul 1908 [333]. În domeniul cercetării proprietăților de rezistență *statică* primele lucrări efectuate sînt descrise în [292]. Tot în acest domeniu se amintesc următoarele lucrări: despre un nou coeficient de elasticitate [291]; modulul de elasticitate al corzilor de oțel [100]; despre determinarea limitei de proporționalitate la oțeluri [248]; cu privire la relația statistică între alungire și contracție la epruvete de oțel [306]; determinarea limitei de curgere la oțeluri pe epruvete cu secțiune circulară [115], [116]; o nouă metodă de încercare statică la forfecare pură a oțelului [142], [143]; metodologia determinării rezistenței la tracțiune a țevilor din oțel și propuneri privind standardizarea acestor încercări [237], [239]; comportarea lanțurilor sudate electric prin topire intermediară [247]; rezistența îmbinărilor lipite cu diferite aliaje de lipit economice [179]; forma gîtuirii epruvetelor deformate în urma solicitării la tracțiune pînă la rupere [5].

În lucrarea [246] se tratează problema încercărilor mecanice asupra epruvetelor mici. În lucrarea [250] se examinează determinarea durității pe suprafețe curbe. Introducerea reglementării ciclurilor de încercare la determinarea durității Rockwell este tratată în [259], [256], iar reproducerea scărilor de duritate în încercările de metale este pe larg tratată în lucrările [261], [262] și [264]; corelația între diferite scări de duritate la fonte este examinată în [172]. În lucrarea [253] se tratează despre determinarea durității bilelor, iar în lucrarea [254] despre precizia reproducerii unităților de duritate Rockwell.

Capacitatea portantă a grinzilor solicitate la încovoiere în domeniul plastic a fost examinată în lucrarea [51]. Studiul [97] se referă la cercetări

privitoare la mecanismul fizic al deformării plastice la metale iar lucrarea [96] se referă la aspectul liniilor Akulov-Bitter în cazul deformațiilor plastice.

Prima lucrare cu caracter de cercetare, realizată la laboratorul de rezistența materialelor al fostei Școli politehnice din Timișoara, este un studiu teoretic și experimental asupra comportării la încovoiere a unor îmbinări sudate de șine [158], publicată în anul 1926.

Cercetările din domeniul sudabilității oțelurilor efectuate în comun de către Centrul de cercetări tehnice Timișoara al Academiei R. S. România, Combinatul siderurgic Reșița și Industria Sîrmei, Cîmpia Turzii [188], au condus la elaborarea în țară a oțelului 17M13 (OLX 52), care se utilizează din ce în ce mai larg în construcțiile sudate. În cadrul acestui studiu s-au cercetat proprietățile de rezistență statică și de oboseală, rezilienta precum și comportarea îmbinărilor sudate din acest oțel. El a fost utilizat pentru prima dată la construcția vagoanelor de mare tonaj; introducerea acestui oțel sudabil în practică conduce la obținerea unor economii importante de oțel.

S-a mai cercetat influența arsenului [144] și a cuprului [147] și [335] asupra proprietăților laminatelor de oțel. De asemenea s-au mai studiat proprietățile mecanice și sudabilitatea oțelului 17M13 cu adaos de titan [194].

Lucrările [108] și [109] relevă importanța îmbinărilor sudate. Probleme legate de standardizarea încercărilor mecanice ale sudurilor sînt tratate în lucrarea [243], iar importanța controlului îmbinărilor sudate este prezentată în lucrările [2], [181] și [186].

Din domeniul încercărilor *tehnologice* s-a studiat anizotropia plană a benzilor laminate la cald și corelarea acesteia cu calitatea țevilor sudate electric [81], precum și capacitatea de ambutisare a tablelor subțiri de oțel [70].

În lucrarea [88], [322] se fac considerații asupra metodelor de determinare a deformării și plasticității.

În lucrarea [83] se discută problema influenței parametrilor de trefilare asupra caracteristicilor mecanice și tehnologice a sîrmelor, iar în lucrarea [220] se descriu proprietățile mecanice ale cablurilor din oțel. Lucrări cu caracter general în acest domeniu sînt prezentate în [162].

In cadrul unor lucrări de colaborare dintre Catedra de rezistența materialelor a Școlii politehnice din Timișoara și atelierele C.F.R. Timișoara s-au întreprins, încă începînd din anul 1927, mai multe cercetări asupra proprietăților mecanice ale fontei precum și asupra metodologiei determinării acestora. Astfel, s-a stabilit relația dintre rezistența la încovoiere și la compresiune [169], s-a studiat influența desulfurizării cu sodă a fontei asupra proprietăților sale mecanice [170], s-a cercetat influența poziției probei din care se extrag epruvete față de piesa la care se referă încercarea; proprietățile statice determinate asupra probelor separat turnate, a probelor turnate corp comun cu piesa precum și a probelor prelevate din corpul piesei [175]. Concluziile ultimului studiu au contribuit la timpul său la introducerea unei propuneri de îmbunătățire a caietului de sarcini românesc, valabil în aceea

vreme [178]. S-a mai studiat influența distanței dintre reazeme — 600 respectiv 300 mm — asupra rezistenței și a săgeții la încercarea de încovoiere a fontei [182]. S-a putut constata că există o diferență între rezistențele și săgețile determinate în cele două condiții și că acestea variază cu calitatea fontei. O caracteristică a acestor lucrări constă în faptul că se bazează pe date experimentale numeroase și evaluarea statistică a acestora. Cercetările în ansamblul lor au dus la elaborarea, în anul 1930, la turnătoria Atelierelor C.F.R. Timișoara, a unei fonte cu calități superioare. Cercetarea proprietăților mecanice ale fontei topite cu un conținut ridicat de deșeuri de oțel și tratată apoi cu ferosiliciu, denumită astăzi fontă modificată, a evidențiat superioritatea ei față de cea obișnuită. Rezultatele obținute au găsit o aplicație largă în producție [180].

Studiul influenței fosforului asupra caracteristicilor mecanice ale fontelor modificate cu silico-calciu sau prin barbotare cu azot este o continuare a preocupărilor pentru cunoașterea proprietăților fontelor și utilizarea lor în modul cel mai rațional [207]. În acest studiu s-au analizat în paralel o fontă normală cenușie Fc-21, o fontă modificată cu silico-calciu Fc-32 și o fontă modificată prin barbotare cu azot. Rezultatele studiului au fundamentat posibilitatea introducerii saboților de vehicule de șină din fontă modificată cu o rezistență la uzură ridicată în locul fontei obișnuite, ceea ce a permis obținerea unor economii însemnate de metal [283]—[288]. În lucrarea [279] se tratează de asemenea despre influența fosforului asupra rezistenței la uzură iar în lucrarea [58] despre influența fosforului asupra proprietăților mecanice ale fontei cu grafit nodular. În lucrarea [332] se abordează problema ameliorării proprietăților fontei cenușii prin tratamente termice.

Cercetarea comportării *tenaco-fragile* a oțelurilor a fost urmărită în laboratoarele din țară în principal prin încercări de încovoiere la șoc asupra unor epruvete cu concentratori de tensiune.

În anul 1928, în cadrul laboratorului de rezistența materialelor al Școlii Politehnice de la Timișoara, s-a studiat reziliența la temperaturi scăzute a oțelurilor pentru bandajele de roți de vehicule de cale ferată, fabricate în noua secție a Uzinelor Reșița [308]. Lucrarea [305] se referă la o cercetare comparativă între rezilienței determinate pe două tipuri de epruvete. Un studiu pe grupe de cîte 40 de epruvete, prelevate din 27 mărci de oțeluri, a dus la stabilirea corelației dintre rezilienței determinate pe epruvete Mesnager și pe epruvete ISO [242] și [244]. S-a mai studiat și corelația dintre reziliența determinată pe epruvete normale și reziliența determinată pe microepruvete [146]. În lucrările [240] și [252] s-a examinat influența construcției ciocanului pendul asupra valorii rezilienței. În urma unei serii de încercări comparative, evaluate statistic, s-a putut remarca printre alți factori și importanța deosebită a rigidității construcției pendulului, care poate provoca diferențe pînă la 10% [252].

În laboratorul de rezistența materialelor de la Institutul politehnic București s-a studiat comportarea la răsucire dinamică a unor oțeluri [27]. Asupra metodicii de determinare a fragilității metalelor tratează lucrarea [40].

Pe baza analizei stării de tensiune, în condițiile acționării unei stări triaxiale de solicitare, a fost stabilit un nou criteriu de determinare a comportării fragilo-tenace a metalelor, care ține seama de influența concomitentă a factorilor determinanți : temperatură, viteză de solicitare și multiaxialitatea stării de tensiune [271].

S-au adus de asemenea contribuții la stabilirea lucrului mecanic specific de rupere, pe baza tensiunilor și deformațiilor reale la solicitarea de tracțiune, atît pentru starea monoaxială de tensiune cît și pentru starea multiaxială [209]. În lucrarea [105] se prezintă rezultatul unor cercetări în legătură cu variația lucrului mecanic de contracție la solicitări statice și dinamice, în funcție de valoarea coeficientului de concentrare a tensiunii și a temperaturii de revenire a oțelului.

Susceptibilitatea oțelului de construcție aliat cu mangan la fragilitatea reversibilă de revenire, în funcție de condițiile tratamentului termic, a fost analizată în lucrarea [87], iar în lucrarea [47] se tratează problema tratamentelor termice ale oțelurilor la temperaturi joase.

În lucrarea [323] se prezintă o critică a metodelor de laborator pentru evidențierea tendinței de rupere fragilă la temperaturi joase a oțelurilor. Sinteze asupra cunoștințelor privind ruperea fragilă a oțelurilor în construcții sudate sînt prezentate în lucrările [165] și [205].

S-a elaborat un studiu vast, bazat pe examinarea a 27 culee de fontă de diferite calități, pentru elucidarea comportării fontei la solicitări dinamice. Concluziile care s-au tras din aceste cercetări se bazează pe mai mult de 2 700 rezultate experimentale [176]. Cercetările s-au extins asupra determinării rezistenței la solicitări statice, rezistenței dinamice la încovoiere la un aparat „chemin de fer" cu epruvete de 40×40 mm în secțiune, în stare brut turnată și prelucrată, la rezilință, la întindere dinamică, la rezistența la lovituri repetate și la rezistența dinamică a unor probe în formă de colțar. S-au cercetat diverși parametri care intervin în metodologia determinării acestor caracteristici. Lucrarea a dus printre altele la următoarele concluzii : între cifrele de rezistență statică la tracțiune și între cele obținute la diferite încercări dinamice există o corelație ; dispersia rezultatelor la încercările dinamice este mai mare decît la încercările statice ; sensibilitatea fontei la încrestare nu s-a manifestat la încercările de rezilință și de tracțiune statică, în schimb a fost evidențiată la încercările cu lovituri repetate ; scoarța de turnare reduce rezistența dinamică a fontei ; cea mai sensibilă încercare în analiza comportării fontei la solicitări dinamice s-a dovedit a fi cea la lovituri repetate ; fontele aliate cu 0,35—1% molibden au dovedit la toate încercările dinamice caracteristice sensibil superioare fontelor nealiate de compoziție apropiată, viteza de solicitare mărind valoarea caracteristicilor de rezistență dinamică. S-a mai dovedit influența importantă a formei pie-

selor la solicitările dinamice, încercarea la încovoiere dinamică a colțarelor din fontă arătînd importanța razei de rotunjire a acestora. Această lucrare a rămas pînă astăzi baza capitolelor despre rezistența dinamică a fontei în tratatele de specialitate ale lui E. Piwowarski: Hochwertiges Gusseisen, Springer Verlag 1961, pag. 267—83 și F. Roll: Handbuch der Giesserei-Technik, vol. I/1, pag. 121—131.

Prima sinteză a cunoștințelor contemporane în literatura tehnică românească în domeniul *oboselii metalelor* a apărut în anul 1885 [166]. Studiul rezistenței la oboseală a oțelurilor și a durabilității unor organe de mașini — în special durabilitatea osiilor vagoanelor de cale ferată — a format una din preocupările laboratorului de rezistența materialelor, al Școlii politehnice din Timișoara, încă din anul 1930 [171]. Lucrările [139], [173], [276] și [281] se referă la cercetări asupra unor cazuri individuale de ruperi de osii și arbori cotiți ai motoarelor diesel.

Se remarcă o amplă investigație statistică făcută între anii 1936—1940 asupra unui număr de 2 280 cazuri de defectări de osii de vagoane de cale ferată [174] provenite din diferite uzine metalurgice [177], [191]. Ținînd seama de particularitățile regimului de funcționare a osiilor de vagoane de cale ferată, s-a ajuns la concluzia că aprecierea capacității de rezistență a acestor piese — care trebuie să reziste și la șocuri — este indicată a se face pe baza unor încercări care să reediteze condițiile specifice de exploatare. S-a elaborat o metodă de examinare la solicitări complexe la încovoiere rotativă cu șocuri adiționale [185]. Studiul a fost reluat mai tîrziu pe o bază mai largă, analizînd influența șocurilor adiționale de intensități diferite asupra limitei la oboseală a oțelurilor. Drept criteriu pentru aprecierea comportării unui oțel la solicitări complexe s-a propus introducerea în calcul a unui coeficient de reducere care ține seama de intensitatea șocului adițional [184]. În continuare s-a cercetat influența variației raportului dintre frecvența șocurilor adiționale și a solicitărilor ciclice asupra durabilității oțelurilor [189]. În lucrările [127], [129], [131] a fost cercetată și influența diverșilor parametri asupra comportării la oboseală a diferitelor oțeluri, trecîndu-se apoi la analiza tensiunilor dinamice produse în epruvete și la perfecționarea metodologiei de încercare.

Pentru cunoașterea rezistenței la oboseală a oțelurilor românești, pe lîngă unele studii izolate [275], [148], s-au efectuat studii sistematice asupra comportării oțelurilor folosite în construcții de mașini. S-au examinat mai întîi principalele mărci de oțeluri nealiate în stare normalizată și în stare îmbunătățită [190], [192], [195], [198], apoi oțelurile aliate [21], [22]. S-a pus la punct metodologia determinării limitelor de variație ale rezistenței la oboseală a diferitelor mărci de oțeluri, folosind metodele analizei statistice și ținînd seama de influența diverselor condiții de încercare. Pentru o fundamentare mai concludentă a rezultatelor, încercările au fost efectuate pe un număr mare de epruvete, iar temperaturile de tratament termic au fost variate în întregul domeniu admis de standarde [21], [22].

În alte lucrări s-a cercetat rezistența la oboseală a unor oțeluri cu concentratori [206] și fără concentratori [196], [199], [200] acoperite galvanic cu un strat de Ni-Fe, stabilindu-se că acoperirile aplicate — prin crearea unor solicitări remanente de compresiune — măresc rezistența la oboseală. În legătură cu acest aspect s-a mai studiat influența hidrogenului catodic asupra rezistenței la oboseală [204]. Lucrările [48], [84], [86], [89], [232], [274], [325] se ocupă de mărirea rezistenței la oboseală prin alte tratamente superficiale.

S-a studiat metodologia de determinare a rezistenței la oboseală la solicitări cu amplitudine crescătoare. Utilizarea acestei metode permite reducerea simțitoare a necesarului de epruvete și a duratei acestei determinări. Cercetările [13], [14], [15], [19], [20], [268] și [270] se referă la o metodă expeditivă de determinare a rezistenței la oboseală prin metoda încărcării progresive. Alte cercetări în acest domeniu sînt expuse în [272]. Alegerea formei epruvetei adecvate încercărilor la încovoiere rotativă este analizată în lucrarea [23].

Despre rezistența la oboseală a pieselor filetate tratează lucrarea [133], iar problema efectului unor crestături de descărcare și a rulării asupra rezistenței la oboseală a pieselor filetate este tratată în lucrarea [135]. Lucrarea [330] se ocupă de problema oboselii oțelurilor pentru arcuri.

S-a studiat de asemenea influența ecruisării produsă prin prelucrarea microepruvetelor prelevate din îmbinări sudate, asupra rezistenței la solicitarea de întindere pulsantă [145].

Influența unor segregații de sulf asupra rezistenței la oboseală a unor epruvete mici solicitate la încovoiere plană a fost tratată în lucrarea [269].

Influența ecruisajului de tracțiune asupra rezistenței la oboseală [98], a efectului simultan al oboselii și coroziunii fără [101] și cu concentratori [102] a fost studiată în cazul prăjinilor de foraj. Legat de acest domeniu se mai menționează lucrarea [55].

Despre standardizarea încercărilor la oboseală tratează lucrările [59], [241], [338] iar necesitatea unei colaborări a laboratoarelor în care se fac încercări de oboseală este relevată în lucrarea [187]. Despre cauzele ruperii pieselor de mașini tratează lucrarea [94].

Preocupările colectivelor din Timișoara în domeniul cercetărilor la oboseală sînt arătate în referatul [203] și monografia [197].

Finalizarea cercetărilor asupra oboselii metalelor reprezintă *studiul durabilității* în serviciu al elementelor de construcții și al construcțiilor întregi.

Oboseala îmbinărilor sudate din șine s-a studiat pe o bază largă în Laboratorul tramvaielor din Timișoara, în 1937, și a arătat superioritatea sudurii prin topire intermediară în comparație cu sudarea cu arc electric, prin flacără oxiacetilenică și prin aluminotermie și a justificat aplicarea acestei tehnologii la construirea căii ferate fără joante în țara noastră [163 a], [334]. Alte lucrări legate de încercarea la oboseală a șinelor sînt [149], [106].

Obosirea materialului de cale ferată este tratată în lucrările [43], [46], [164], [234]. Lucrările [1], [267] tratează despre oboseala construcțiilor metalice.

În laboratorul Institutului politehnic Timișoara s-au întreprins cercetări la o mașină de construcție originală asupra rezistenței de durată a sîrmelor din oțel, ținînd seama de compresiunea de contact, reproducînd astfel starea de solicitare din sîrma care intră în construcția cablurilor din oțel [208]. S-a mai studiat durabilitatea cablurilor de oțel la o mașină originală care permite varierea parametrilor de încercare în limite largi [37].

În cadrul laboratorului de organe de mașini al Institutului politehnic Timișoara se execută studii experimentale asupra durabilității flancurilor dinților roților dințate cilindrice din oțel cu dinți drepți, studiind și zgomotul în agrenaje. Referitor la durabilitatea angrenajelor s-au făcut studii asupra unor factori care influențează fenomenul de „pitting" (ciupire) și s-a stabilit o corelație între mărimea solicitării la încovoiere în stratul superficial al flancului dintelui și rezistența la „pitting". S-a mai cercetat și modul cum contribuie erorile danturii la apariția și dezvoltarea ciupiturilor [134], [136]. S-au efectuat de asemenea cercetări la „pitting", pe role pentru modelarea fenomenelor ce se produc pe dinții roților dințate. Încercările roților dințate din oțel și mase plastice prin metoda sarcinii progresive s-au realizat pe un stand original, construit în acest scop [136], [137].

La Institutul de metrologie — Secția forțe, din Timișoara, s-a cercetat durabilitatea specifică exploatării articulațiilor cuțit-pernță de la aparatele de cîntărit la un nou tip de mașină, la o solicitare oscilantă, sub presiune de contact. Rezultatele obținute cu cuțite călite din oțel de scule relevă influența determinantă a durității straturilor superficiale asupra naturii degradării muchiei. Ciupiturile „pitting" apar la durități sub 720 HV, iar la durități peste 720 HV intervin știrbiri ale muchiei. Pentru probele cu durități între 720 și 800 HV sînt în curs determinări de curbe de durabilitate [255], [260].

Lucrarea [44] tratează despre încercarea la oboseală a paletelor de turbină, iar lucrarea [167] despre durabilitatea arborilor cotiți.

Unele accidente provocate de piese rupte prin oboseală sînt examinate în lucrarea [153].

S-a acordat o deosebită importanță cercetării comportării oțelurilor folosite la *temperaturi ridicate* în construcția de cazane, a recipienților și pentru utilajul chimic. În anul 1935 au fost efectuate de către laboratorul Catedrei de rezistența materialelor din Timișoara, în colaborare cu Laboratorul tramvaielor din Timișoara, pentru prima dată în țară, încercări de fluaj pe o aparatură de o concepție proprie. S-au cercetat epruvete din oțel prelevate din țevile de supraîncălzitor ale unui cazan de la Uzina electrică din Galați. Pe aceeași instalație de încercat la fluaj, s-au studiat mai tîrziu caracteristicile mecanice ale tablelor noi pentru cazane de locomotivă, în comparație cu caracteristicile tablelor de la cazane care au fost în exploatare de cîteva decenii [113].

Despre încercările la cald de scurtă durată se vorbește în lucrarea [72]. În lucrarea [118] s-a făcut o analiză a principalelor relații analitice care redau desfășurarea în timp a procesului de fluaj pe baza rezultatelor experimentale, în vederea urmăririi alegerii formulei, care asigură certitudinea optimă a extrapolării, pentru durata de 500 de ore, a rezultatelor obținute la încercări de fluaj sub 100 de ore. În lucrarea [120] s-a propus o nouă formulă de calcul al limitei de fluaj, care a fost verificată pentru oțelul OLK 1 încercat la 350 °C și 400 °C.

Comportarea la cald a oțelurilor a mai fost cercetată și în lucrări care au avut ca obiect studiul dependenței limitei de curgere de condițiile de încercare. Astfel în lucrările [117], [123] au fost studiate influența temperaturii respectiv a vitezei de încercare a unui oțel moale. Determinarea limitei de curgere în intervalul de temperatură cercetat (20° ... 500 °C), s-a executat după o metodă nouă, cu viteze de încărcare constante, cuprinse în limitele $10^{-5}$—1 kgf/mm$^2$ · s, pe o instalație de o construcție originală.

În lucrările [119], [121], [122] a fost studiată corelația între eforturile unitare limită $\sigma_{0,1}$ —$\sigma_{07,}$, corespunzătoare deformațiilor plastice cuprinse între 0,1 și 0,7% și eforturile unitare aferente ale acelorași deformații, determinate la aceeași temperatură (T=400 °C), din încercări de fluaj de scurtă durată; pe baza rezultatelor obținute s-a putut prezenta o metodă de determinare a limitei de curgere tehnică $\sigma_{0,2}$ din încercări de fluaj, corespunzătoare unei anumite viteze de fluaj.

În cadrul Secției de utilizare rațională a oțelurilor din Institutul de cercetări metalurgice București au fost efectuate cercetări asupra caracteristicilor mecanice la fluaj, la oboseală, în vederea cunoașterii amănunțite a microstructurii oțelurilor în diferite stări, precum și a unor modificări structurale care au loc în condiții de fluaj și oboseală la temperaturi ridicate. În cazul unor oțeluri termostabile și termorezistente s-au făcut cercetări pentru a elucida unele aspecte fundamentale ale metodicii de încercare [66], [67], [79], [82]. De asemenea s-au efectuat cercetări asupra caracteristicilor de fluaj ale unor oțeluri elaborate de ICEM [69], [74], [75], stabilindu-se domeniile de utilizare la cald ale acestora. S-au întreprins și cercetări în legătură cu metodica de extrapolare pentru durate lungi de exploatare a unor date obținute prin încercări de durată limitată [61], [62], [64], [76], [77], [78]. Aceste cercetări au fost corelate cu modificările microstructurale, în special cele morfologice, în ce privește acțiunea sarcinii și temperaturii ridicate asupra ansamblului de caracteristici mecanice de durată. În acest scop au fost puse la punct metoda analizei röntgenostructurale a carburilor separate electrolitic [280]. Încercările statice la temperaturi ridicate au fost completate de încercări de oboseală la temperatura normală și ridicată. În cadrul acestora, pe lîngă determinarea rezistenței la oboseală s-a urmărit corelația acestei caracteristici cu caracteristicile statice și modificările structurale produse ca urmare a acțiunii sarcinilor variabile [71], [150].

Pentru stabilirea posibilităților de utilizare ale unor oțeluri din instalații lucrînd la temperaturi înalte și corelarea acestor caracteristici cu modificările

de structură, încercările mecanice au fost dublate de cercetări de microscopie optică şi electronică, de analiza röntgenostructurală a carburilor separate electrolitic etc. [79], [80]. Ca rezultat al cercetării s-au elaborat instrucţiuni pe baza cărora să se poată analiza stadiul evoluţiei unui oţel şi hotărî dacă poate fi folosit în continuare peste durata prevăzută în calcul.

Despre efectul de concentrare a eforturilor unitare la temperaturi ridicate tratează lucrarea [54], iar despre fluajul corzilor de oţel, lucrarea [99]. Lucrările [63], [73] şi [68] se referă la probleme generale ale cercetării comportării oţelurilor la temperaturi ridicate.

La Institutul de mecanica aplicată din Bucureşti al Academiei R. S. România au fost dezvoltate, în ultimii 10 ani, cercetări de *frecare şi uzură*, elaborîndu-se şi utilizîndu-se metode moderne de măsură electrice, electronice şi cu izotopi radioactivi, unele dintre rezultatele obţinute fiind de interes economic deosebit. Astfel, o metodă nouă de încercare la uzură, brevetată în ţară şi peste hotare (Anglia, Franţa), este utilizată la determinarea comportării la uzură a uleiurilor şi aditivilor sintetizaţi la Ploieşti sau a materialelor de antifricţiune [223]. Pentru studiul proceselor intime ale uzurii, s-a elaborat o metodă care permite urmărirea simultană şi la intervale scurte de timp a evoluţiei uzurii şi temperaturii suprafeţelor [224]. Aceste studii şi metode au permis o apreciere mai riguroasă a dependenţei perioadei de rodaj, de factorii mecanici şi chimici şi diferenţierea, în cazul aditivilor de extremă presiune, a caracterului de antiuzură şi antigripaj [226].

Un studiu asupra erorilor de măsură, în cazul utilizării metodei radiometrice în uzură, a arătat anumite limitări ale acestei metode [225], ce fuseseră sesizate şi în cazul aşchierii metalelor [222]. Aspectele statistice ale metodei radiometrice şi corelaţia lor cu cele ale fenomenului studiat a constituit o altă preocupare [227]. Pentru astfel de studii complexe a fost realizată o instalaţie originală de productivitate mai mare, prin mărirea numărului cuplurilor de frecare şi a posibilităţilor de înregistrare a diferiţilor parametri şi fenomene (regimul de ungere, forţa de frecare, stick-slip, viteza de uzură etc.) [221]. Pentru obţinerea unor rezultate cu precizie ridicată, privind coeficientul de frecare, s-a realizat o instalaţie brevetată în ţară şi în curs de brevetare în străinătate, utilizînd un nou tip de cuplu de frecare [141].

În acelaşi institut s-au dezvoltat cercetări privind lubrificaţia, frecarea şi uzura, utilizîndu-se metode clasice, în special privind lagărele de alunecare [324], materialele de antifricţiune, rodajul chimic al motoarelor [329]. S-au efectuat de asemenea cercetări privind calculul la uzură şi uzura maselor plastice [151], [152], [265].

Recent, s-a publicat o sinteză amplă a evoluţiei cercetărilor de frecare şi uzură, aspectele metalurgice, metodele de calcul şi aparatura privind acest domeniu [228], [229], [230], [231].

Din marea varietate a condiţiilor în care se poate produce uzura s-au făcut studii şi în cazul uzurii abrazive şi a celei prin frecare de alunecare uscată. În cadrul acestora s-a studiat influenţa diametrului şi a avansului

radial al epruvetei, a vitezei discului și uniformității hîrtiei abrazive etc., asupra vitezei uzurii abrazive la o mașină de încercat originală [154]. S-a studiat posibilitatea măririi durabilității brăzdarelor și cormanelor de plug, prin încărcări cu aliaje dure [155], [156]. S-a trecut în continuare la studiul uzurii prin frecare de alunecare și a coeficientului de frecare al fontei modificate și al fontei cenușii normale [202], [283]—[288]. Pe baza cercetărilor de laborator și a experimentărilor în exploatare, a reieșit că prin folosirea la frînarea vehiculelor de șină a saboților din fonte modificate — și în special a celor cu conținut ridicat de fosfor de 0,8 pînă 1,5% — rezistența la uzură a saboților se majorează de două respectiv pînă la șase ori, fără a influența negativ durata de exploatare a bandajelor, iar drumul de frînare se scurtează cu circa 30—50%.

În vederea obținerii unor economii de metal se studiază proprietățile de uzură și frecare ale unor mase plastice aglomerate, care urmează să fie utilizate la saboții pentru vehicule de șină [289]. S-a mai cercetat uzura și coeficientul de frecare la discuri de fricțiune de la suspensia locomotivelor diesel-electrice [290].

Dintre cercetările *nedistructive* care au un rol crescînd în controlul calității materialelor [3], [4], [60], [110], [124], [125], [331] a pieselor și a construcțiilor întregi, se menționează următoarele:

În anul 1955 Ministerul Transporturilor și Telecomunicațiilor a solicitat colaborarea Centrului de cercetări tehnice din Timișoara pentru introducerea controlului *ultrasonic* la revizia osiilor de vehicule de cale ferată. În colaborare cu acest Minister s-a pus la punct acest control și s-au elucidat o serie de probleme cu caracter fundamental orientat. Astfel, lucrările [7], [18], [12] se referă la controlul ultrasonic al osiilor de vehicule de șine cu prilejul reviziilor periodice. În lucrările [8], [10], [11] s-au cercetat unele aspecte fundamentale ale acestei metode de investigație nedistructivă. Cercetările au dus la elaborarea instrucțiunilor de control al osiilor de vagoane de cale ferată și al profilelor laminate din care se confecționează longeroanele de locomotive diesel-electrice [12], [16], atît pentru controlul manual prin contact direct cît și pentru controlul automat prin tehnica imersiunii.

De asemenea s-a mai studiat, prin cercetări efectuate pe un vast material experimental, corelația dintre microstructură și caracteristicile mecanice pe de o parte și transparența ultrasonică a osiilor de vagoane, pe de altă parte [9], [17]. S-a stabilit că unele osii supuse unui tratament termic incorect prezintă microstructuri necorespunzătoare, care duc la o scădere a cifrelor de rezistență sub valorile înscrise de norme. Metodologia elaborată permite — prin generalizare și la alte produse — controlul nedistructiv cu ultrasunete al pieselor mari forjate.

Lucrarea [328] se ocupă cu aprecierea cantitativă a naturii și poziției defectelor din cusăturile sudate cu ajutorul ultrasunetelor. Controlul nedistructiv al arborilor cotiți se tratează în [168].

Asupra controlului ultrasonic al materialelor se discută și în lucrările [236] și [282], în ultima fiind analizate realizările ICET-ului în acest dome-

niu. O sinteză a aplicațiilor ultrasunetelor în control și măsurări care conține și aspecte de defectoscopie ultrasonică este prezentată în lucrarea [90].

Lucrarea [6] tratează un aspect teoretic al cercetărilor cu ajutorul ultrasunetelor, discutînd problema transferului de energie ultrasonică printr-un strat lichid.

În domeniul defectoscopiei nedistructive cu *radiații penetrante* (raze X și raze gama) s-au efectuat studii și cercetări privind : variația coeficienților de absorbție cu grosimea materialului absorbant în cazul radiațiilor policromatice, demonstrîndu-se teoretic și experimental că la fasciculele înguste acești coeficienți scad cînd grosimea materialului crește [214], [217]; legătura dintre spectrul de radiații și coeficienții efectivi de absorbție [214]; stabilirea criteriului privind expunerea pieselor care prezintă diferențe de grosime [212]; stabilirea pe cale radiometrică a variației coeficienților de absorbție în cazul fasciculelor largi cu luarea în considerare a factorului de corecție pentru radiațiile difuze la sursele de Co — 60, Cs — 137 și Ir — 192 și la piese din oțel și aluminiu [215] și în funcție de aceste rezultate stabilirea timpilor și criteriilor de expunere a pieselor ce se examinează [218]. Orientarea principală a acestor studii și cercetări este îndreptată către alegerea optimă a surselor de radiații și a parametrilor de expunere și către aspecte privind sensibilitatea și productivitatea în examinarea nedistructivă cu ajutorul radiațiilor penetrante [212], [215], [216], [218], [213].

Asupra primelor utilizări ale razelor X în cercetarea sudurilor se tratează în lucrarea [41]. Cercetări asemănătoare sînt efectuate și descrise în lucrările [104] și [107]. S-a elaborat și o lucrare privind stadiul actual al cercetărilor în acest domeniu pe plan mondial și în țara noastră [219]. În lucrările [326] și [327] se tratează despre determinarea tensiunilor cu ajutorul razelor X. În lucrarea [91] se discută problema calculării defectului minim detectabil. Problemele generale privind defectoscopia îmbinărilor sudate sînt tratate în lucrarea [93].

Cu ajutorul metodelor *magnetice* au fost cercetate organe de mașini și elemente de construcție din industria minieră și a construcțiilor de mașini. S-au făcut cercetări în vederea folosirii variației parametrilor magnetici la urmărirea solicitărilor în metale feromagnetice, care au relevat posibilitățile utilizării metodelor magnetice [128], [130], [138], [140], pentru urmărirea modificărilor structurale, de compoziție, de solicitare etc., rezultate, care au generat începerea cercetării fenomenului de oboseală prin observarea modificărilor ce apar la solicitări variabile în timp. Despre o metodă magnetică pentru evaluarea efortului în sîrmele unui cablu de oțel tratează lucrarea [33]. Despre eficiența controlului magnetic folosind pulberi magnetice se tratează în lucrarea [273].

Pentru determinarea cantitativă a *segregaților* în profile laminate s-a conceput o metodă originală bazată pe măsurarea transparenței amprentelor Baumann făcute pe film [320].

Determinarea tensiunilor remanente prin strungire descrie lucrarea [161].

În domeniul *extensometriei electrice,* ca metodă de investigație comodă, pentru verificarea solicitărilor reale, primele lucrări au fost executate în anul 1955 la un vagon de persoane [24], [45]. Această metodă a fost folosită la determinarea solicitărilor în vagoane de construcție sudată din OLX 52 [26] pe stand și în circulație, pe mașini miniere de extracție, carcase de turbine cu aburi, mașini agricole [32], etc., [132] s-au cercetat posibilitățile de menținere în serviciu a construcțiilor, majorarea sarcinilor etc. ; ele au generat și cercetări de perfecționare a metodelor electrotensometrice în domeniul solicitărilor dinamice, a compensării variației de temperatură la montajele rozetă, analiza erorilor [38]. În lucrarea [30] se dă o nouă metodă de compensare a traductorilor rezistivi folosiți în extensometrie. Extensometria electrică a fost utilizată ca un prețios auxiliar și în unele studii ale tensiunilor reale [29] din epruvetele supuse la oboseală [126], în elementele macaralelor [31], la studiul longeroanelor de autocamion [85], la studiul membranelor plane circulare [34], la studiul tensiunilor remanente în cordoane de sudură [52], [53] și în șine [328] etc., precum și la studiul deformațiilor pe macheta unei cupole pentru o hală de expoziție. Pentru utilizarea la maxim a rezervei de rezistență a unei instalații de laminare din Combinatele și Uzinele siderurgice, Institutului de cercetări metalurgice București a aplicat metodele tensometriei electrice. Cercetările au permis ca exploatarea agregatelor să se facă mai rațional și cu un randament mai ridicat [65].

O activitate remarcabilă în domeniul tensometriei electrice a desfășurat laboratorul de rezistența materialelor de la Institutul politehnic „Gh. Gheorghiu-Dej" din București prin studii făcute asupra unor construcții importante ca : distribuitorul turbinelor, casa vanelor și carcasa spirală de la hidrocentrala „V. I. Lenin"-Bicaz, studiul stabilității aeroelastice a traversării conductelor de gaz metan suspendate, studiul turlelor de foraj 2DH-75A și 50-P350, studii de vibrații la diferite agregate și încercări tensometrice pe avionul IAR821 [233].

O parte din lucrările de tensometrie electrică efectuate la noi în țară, sînt prezentate în lucrările [56 a] și [166 a].

S-au mai făcut studii experimentale asupra unor grinzi rulante suspendate [56], și a unei grinzi cu zăbrele sudate ; s-a cercetat corelarea capacității portante cu precizia de măsurare la captori dinamometrici cu traductori rezistivi [103].

Folosirea *metodelor statistice* în vederea stabilirii concludenței rezultatelor, stabilirea unor corelații între diferitele caracteristici mecanice, pe baza unor încercări statice și dinamice, formează la noi în țară încă din anul 1931 obiectul unor preocupări merituoase care tratează abaterile accidentale la măsurători în încercările de material [294], [295], [296], [298], [300], [301], [303], [304], [306], [307], [309], [310], [312], [313], [316], [319].

În aceste lucrări sînt tratate probleme legate de controlul statistic al fabricației șinelor, bandajelor etc. și a corelației dintre rezistența și alungirea lor, riscul de refuz față de condițiile caietelor de sarcini, valorificarea datelor obținute la recepția materialelor, interpretarea rezultatelor măsură-

torilor în încercările de materiale, probleme matematice ale corelației precum și erorile de încercare, dispersia rezultatelor și probabilitatea abaterilor, variația parametrilor statistici la sîrmele componente ale cablurilor de tracțiune [36], [39].

Cercetările asupra proprietăților materialelor metalice și a metodologiei determinării acestora în majoritatea cazurilor au la bază introducerea unor măsuri cu caracter convențional, ceea ce cere reglementarea riguroasă a condițiilor de executare. În țara noastră s-a reușit, într-un timp relativ scurt, să se introducă în acest domeniu o *standardizare* la nivelul exigențelor țărilor cu tehnica avansată, iar instrucțiunile de verificare redactate acoperă în prezent întregul sortiment de utilaje existente în laboratoarele de cercetări [278].

Utilarea corespunzătoare a unităților de cercetare este o condiție indispensabilă pentru munca de cercetare, și realizarea de *utilaje de încercări* de materiale în țară a constituit un permanent deziderat al cadrelor din laboratoare pentru a se putea asigura dotarea necesară cercetărilor fără a fi în permanență avizați la import atît pentru utilajele clasice cît și pentru utilajele necesare unor cercetări speciale. Despre începuturile construcției aparatelor de precizie concepute în țară tratează lucrarea [302].

Între primele inițiative se menționează utilajele construite în anii 1928—1950 la atelierele din Timișoara sub îndrumarea lui C. Mikloși ; mașini de încercat la tracțiune și universale [163] ciocan pendul, pulsator hidraulic, aparat de încercări de duritate Brinell. Este de remarcat construcția originală a dinamometrului cu lame parabolice aplicate pentru măsurarea sarcinilor la mașinile de încercat [159], [160].

Despre construcțiile dinamometrelor se mai tratează și în lucrarea [235]. Precizia dinamometrelor cu mărci tensometrice a fost cercetată în lucrarea [257]. Prima etalonare făcută în 1928 a unei mașini de încercat materiale este descrisă în lucrarea [293]. În lucrarea [42] se descrie metoda aplicată la etalonarea mașinilor de încercat din laboratorul Școlii politehnice București. Problema etalonării mașinilor de încercat mai este tratată și în lucrările [318], [321] iar unele probleme generale în [311], [111] și [293].

În activitatea Laboratorului de rezistență și încercări de materiale de la Institutul politehnic Timișoara se înscriu de asemeni preocupări în acest domeniu. Astfel, în anul 1936, colectivul Laboratorului colaborează la realizarea unei mașini orizontale de încercat lanțuri de 80 Mgf și o deschidere de 30 m, care se mai folosește și în prezent. În cadrul laboratorului s-au construit în cursul anilor, numeroase utilaje printre care : mașini de încercat la încovoiere rotativă după Wöhler și mașini de concepție originală : pentru încercări la încovoiere rotativă cu șocuri adiționale [184], pentru încercări cu solicitări progresive [114], pentru încercări la oboseală a sîrmelor [208], încercări la oboseală prin rezonanță [277], pentru încercări de durabilitate a cablurilor de tracțiune, pentru examinarea influenței vitezei de încărcare și a temperaturii asupra încercărilor de tracțiune. În lucrarea [28] s-a studiat eroarea totală de indicații la extensometrele Martens cu pîrghie optică dublă

[201]. Despre un torsiometru mecanic de precizie, de concepție originală, tratează lucrarea [112]. În lucrarea [35] se descrie un aparat pentru determinarea capacității de amortizare.

Între acțiunile de realizare de utilaje pentru uzul propriu se mai menționează : construcțiile realizate la Catedra de rezistența materialelor de la Institutul politehnic, București, — o mașină de încercat la fluaj, mașină de încercat la răsucire dinamică [27] ș. a. — la baza de ateliere pentru cercetări de pe lîngă Instiutul de cercetări în construcții și economia construcțiilor București — mașini de încercat pentru fluaj și relaxare [57], — proiectele Institutului de Căi Ferate București — mașini de încercat arcuri, pulsatoare hidraulice, mașina de încercare la oboseală [95] construită la Institutul politehnic Iași etc. Despre utilarea laboratoarelor se vorbește în lucrările [50], [49], [157], [183], [193].

Fabricația de serie a utilajelor de încercări mecanice se asimilează în țară abia în ultimele două decenii, o dată cu organizarea laboratoarelor din industria noastră socialistă. Pentru asigurarea bazelor materiale necesare controlului calității din industrie se încadrează în planul de producție al uzinelor „Balanța" Sibiu aparatele de încercarea durității Rockwell și Brinell de 300 kgf. Pe baza experienței acumulate în fabricația primelor tipuri de aparate de duritate, colectivul uzinei a trecut la asimilarea unor noi modele, construcții orignale [238], cu o completă automatizare a ciclului de încercare a durității. Performanțele noilor aparate de încercare a durității Brinell [251] și Rockwell se situează la nivelul experiențelor internaționale, fiind competitive cu produsele străine. Despre uniformitatea plăcuțelor etalon de duritate fabricate în țară, se tratează în [263]. Pe lîngă aceste aparate s-a mai introdus în fabricație și un aparat portabil de încercare a durității după Baumann. Între utilajele de încercări mecanice fabricate în serie se mai menționează mașinile de încercat la tracțiune de 500 kgf ; 1 000 kgf și 2 500 kgf, construite de Secția de utilaje de laborator de pe lîngă întreprinderea „TEBA" Timișoara. Se mai menționează construirea în țară a unui generator pentru cercetări ultrasonice [25], a unei instalații mobile pentru gamadefectoscopie tip IFA [92].

Colectivul secției din Timișoara a Institutului de metrologie a elaborat o serie de proiecte pentru utilajele de etalonare — mașini cu încărcări directe [249], [258], aparate etalon pentru scările de duritate — și utilaje curente de încercări ; superdurimetrul Vickers [245], mașină de încercat la încovoiere rotativă, mașină de încercat la răsucire, mașini de încercat la tracțiune etc.

Înlăturarea dificultăților de dotare prin organizarea în țară de ateliere de construcții de mașini de încercat, unicate și în serie, au avut efecte deosebit de favorabile pentru impulsionarea activității laboratoarelor de cercetări și uzinale.

## BIBLIOGRAFIE


1. I. Bălănescu (1960): Fenomene de oboseală la construcțiile metalice ale macaralelor. *Metalurgia și construcții de mașini, 1.*
2. M. Băltănoiu, S. Sontea (1962): Cercetarea oțelurilor destinate construcției sudate a locomotivei Diesel-electric. *A IV-a Consfătuire de sudură și încercări de metale,* Timișoara 12—15 oct., Caietul II/*4,* 25—28. Instit. de doc. tehnică, București, 1964.
3. Al. Bernath (1956): Caracterele principale ale controlului ultrasonic. *A II-a Consfătuire de sudură și încercări de metale,* Timișoara, II, 561—612.
4. Al. Bernath, T. Herlescu (1956): Defectoscopia ultrasonică. *A II-a Consfătuire de sudură și încercări de metale,* Timișoara. Vol. II, 489—514.
5. Al. Bernath, M. Rațiu (1956): Contribuții la studiul formei zonei gîtuite la epruvetele metalice supuse la tracțiune. *Studii și cercetări științifice,* 41—86. *Stahl und Eisen,* 1959, 4, 226—230.
6. Al. Bernath, T. Herlescu (1958): Asupra transferului de energie ultrasonică printr-un strat de lichid. *Studii și cercetări — Științe tehnice, 3—4,* 131—146.
7. Al. Bernath (1959): Caracteristicile de detectare a defectelor la examinarea ultrasonică cu unde transversale. *A III-a Consf. de sudură și încercări de metale,* Timișoara, 1959, Comunic. vol. III, 95—106.
8. Al. Bernath (1960): Contribuții la studiul transferului impulsurilor ultrasonice prin pelicula de cuplare a palpatorului. *Studii și cercetări — Științe tehnice, 1—2,* 95—108.
9. Al. Bernath, E. Iovițiu (1960): Contribuții la studiul corelației dintre transparența ultrasonică și structura osiilor de vagoane de cale ferată. *Studii și cercetări — Științe tehnice, 3—4,* 249—258 și Congresul II de încercări de materiale, Budapesta 1963, 91—98.
10. Al. Bernath (1960): Asupra eficacității controlului ultrasonic cu unde longitudinale la determinarea fisurilor de oboseală la osii de vagoane de cale ferată. *Studii și cercetări — Științe tehnice, 3—4,* 259—266.
11. Al. Bernath (1961): Asupra sensibilității de detectare a defectelor la osii de vagoane de cale ferată, cu unde ultrasonice transversale. *Studii și cercetări — Științe tehnice, 1—2,* 43—58.
12. Al. Bernath (1962): Contribuții la defectoscopia ultrasonică a osiilor de vehicule de cale ferată. *A IV-a Consfătuire de sudură și încercări de metale* — Timișoara, 12—15 oct., 41—61 și Congresul II de încercări de materiale, Budapesta 1963, 23—45.
13. Al. Bernath, I. Hajdu, V. Safta (1962): Contribuții la determinarea rezistenței la oboseală prin metoda încercărilor progresive. *A IV-a Consfătuire de sudură și încercări de metale* — Timișoara, 12—15 oct., 57—73 și *Schweisstechnik,* (1963), 12, *11,* 509.
14. Al. Bernath, I. Hajdu, V. Safta (1963): Examinarea metodei Prot de încercare la oboseală cu sarcină progresivă. Încercări efectuate asupra oțelurilor carbon de îmbunătățire. *Studii și cercetări — Științe tehnice, 1,* 35—48.
15. Al. Bernath, V. Safta (1963): Nouă metodă de încercare la oboseală cu încărcare progresivă. *Studii și cercetări — Științe tehnice, 1,* 57—65.
16. Al. Bernath, E. Iovițiu, V. Safta (1963): Controlul ultrasonic al longeroanelor pentru locomotivele diesel-electrice. *Studii și cercetări — Științe tehnice,* 2, 253—258.
17. Al. Bernath, V. Safta, Vl. Șerban (1963): Cercetări asupra corelației dintre transparența ultrasonică, microstructura și caracteristicile mecanice ale osiilor de vagoane. *Studii și cercetări — Științe tehnice, 2,* 255—277 și Ed. Transporturilor, București, 1963.
18. Al. Bernath (1963): Cercetări legate de controlul ultrasonic al osiilor de vagoane de cale ferată. *Construcția de mașini, 9,* 610—619 și Simpozionul internațional asupra aplicațiilor ultrasunetelor — Bratislava, 1962.

19. Al. Bernath, I. Hajdu, V. Safta (1964): Contribuții la determinarea rezistenței la oboseală prin metoda cu încărcare progresivă. O nouă metodă rapidă de determinare a rezistenței la oboseală. *Consfătuire ICEM*, 453—463.

20. Al. Bernath (1964): Contribuții la dezvoltarea metodelor de încercare la oboseală sub sarcină progresivă. *Construcția de mașini, 2,* 97—100 și *Ciencia y technica de la Saldadura,* XIV, *80* (1964 sept.—oct.).

21. Al. Bernath, B. Horovitz (1965): Comportarea la oboseală a unor oțeluri aliate îmbunătățite. *Consfătuire ICEM, 7,* 197—212.

22. Al. Bernath, B. Horovitz, L. Sóos (1965): Asupra rezistenței la oboseală a unor sortimente de oțeluri aliate de îmbunătățire. *Construcția de mașini, 11,* 65—74.

23. Al. Bernath, I. Havas (1967): A forgóhajtogató kifáradási vizsgálatok összehasonlithatoságáról — Gép 1967 și *Congr. al IV-lea de încercări de materiale,* Budapesta, 11—14 oct.; 1967 (în curs de apariție).

24. M. Bernath, E. Iovițiu, T. Herlescu (1959): Considerații practice asupra tehnicii măsurătorilor electrotensometrice dinamice la vagoane de cale ferată. *A III-a Consfătuire de sudură și încercări de metale,* Timișoara, *Comunicări,* III, *15,* 13—14.

25. M. Bernath (1959): Un generator electronic cu gama largă de frecvență pentru cercetări ultrasonice. *A III-a consfătuire de sudură și încercări de metale,* Timișoara, *Comunicări,* III, *15,* 91—93.

26. M. Bernath, T. Herlescu, E. Iovițiu (1960): Considerații practice asupra tehnicii măsurătorilor electrotensometrice dinamice la vagoane de cale ferată. *Studii și cercetări — Științe tehnice, 1—2,* 109—116.

27. M. Blumenfeld, E. Dumitrescu (1962): Incercări la răsucire prin șoc ale oțelurilor. *A IV-a Consfătuire de sudură și încercări de metale,* Timișoara, 12—15 oct., Caiet II/*3,* 27—32. Instit. de doc. tehnică, București, 1964.

28. L. Boleanțu, N. Gheorghiu (1962): Eroarea totală de indicație la extensometrele Martens cu pîrghie optică dublă. *A IV-a Consfătuire de sudură și încercări de metale,* Timișoara, 12—15 oct. Caiet II/*5,* 27—46.

29. L. Boleanțu, N. Gheorghiu, M. Fischer, M. Gheorghiu (1963): Asupra unor studii de extensometrie electrică efectuate pentru industrie. *Bul. științ. și tehn. al Instit. politehnic,* Timișoara, Seria Nouă, 8 (22), *1,* 103—115.

30. L. Boleanțu, M. Fischer (1963): O nouă metodă de compensare a traductorilor rezistivi din rozetele folosite în extensometrie electrică. *Bul. științ. și tehnic,* I.P.T., 8, *22* și *Materialprüfung,* 6, *8* 283—285, 1964.

31. L. Boleanțu, N. Gheorghiu, M. Fischer (1963): Studiul experimental asupra stabilității macaralelor turn deplasabile. *Studii și cercetări — Științe tehnice,* 125—138.

32. L. Boleanțu, E. Iovițiu, N. Gheorghiu, M. Fischer (1964): Unele aplicații ale extensometriei electrice. *A IV-a Consfătuire de sudură și încercări de metale* — Timișoara, 12—15 oct. Caiet II/*1,* 63—83. Instit. de doc. tehnică, București.

33. L. Boleanțu, Al. Cornut (1964): O nouă metodă magnetică pentru evaluarea eforturilor din sîrmele unui cablu de oțel. *Bul. științ. și tehn.* al Instit. politehnic, Timișoara, Seria Nouă, 9 (23), *1,* 85—92.

34. L. Boleanțu, M. Fischer (1964): Contribuții la studiul membranelor plane circulare. *Bul Științ. și tehn.* al Institut. politehnic Timișoara, Seria Nouă, 9 (23), *2,* 389—398.

35. L. Boleanțu (1964): Un aparat pentru măsurarea capacității de amortizare a metalelor. Consf. ICEM, *Cercetări de metalurgie, 6,* 385—395.

36. L. Boleanțu, T. Babeu (1965): Evoluția unor parametri statistici de calitate la controlul periodic al cablurilor de oțel. *Conferința a V-a de sudură și încercări metale,* Timișoara, Vol. II, 584—597.

37. L. Boleanțu (1967): Procese de distrugere la suprafețele de contact ale sîrmelor din oțel din cabluri de tracțiune. *Sesiunea ICEM,* 1967.

38. L. Boleanţu, M. Fischer, T. Babeu (1967): Unele particularităţi ale încercărilor de rezistenţă pe modele din elemente cu dimensiuni mici. *Studii şi cercetări de metalurgie*, **11**, *1*.
39. L. Boleanţu (1967): La variation des paramètres statistiques déterminés lors du contrôle périodique des câbles de traction. Revue de Métallurgie, **11**, *1*.
40. P. Brătescu (1935): Determinarea fragilităţii metalelor. (Încercarea de rezilienţă). *Bul. Soc. Politehnice* din România, *9*, 901—930.
41. G. C. Brătescu (1941): Primele încercări cu raze Röntgen ale sudurilor în ţară. *Bul. Soc. Polit.* din România, *6*, 819—823.
42. G. C. Brătescu (1942): Etalonarea maşinilor de încercat de la Laboratorul politehnicei. *Bul. Soc. Polit.* din România, *4*, 590—600.
43. P. Brătescu (1945): Ruptura de obosire la materialul de cale ferată. *Revista CFR*, *10—12*.
44. D. Brebenel (1962): Încercări la oboseală şi determinarea decrementului logaritmic al oscilaţiilor unor palete de turbină. *A IV-a Consfătuire de sudură şi încercări de metale*, Timişoara, 12—15 oct. Caiet **II**/*4*, 75—89. Institut de doc. tehnică, Bucureşti, 1964.
45. M. Buga ş. a. (1959): Încercări tensometrice la un vagon de călători în construcţie sudată. *A III-a Consf. de sudură şi încercări de metale*, Timişoara, *3*, 11—12.
46. A. Bunescu (1959): Constatări asupra cauzelor ce conduc la ruperea bielelor de locomotivă. *Revista Căilor Ferate*, *9*.
47. I. Burcioiu, C. Vitănescu, Gh. Ducilă (1957): Cercetări asupra tratamentului termic al oţelurilor la temperaturi sub 0 °C. *Metalurgia şi construcţia de maşini*, **9**, *1—10* şi **10**, *1—8*.
48. I. Burcioiu (1955): Tratamente termochimice şi acoperiri metalice pentru ridicarea rezistenţei la oboseală a pieselor din oţel. *Volum consfătuire ASIT*, Bucureşti,
49. Gh. Buzdugan (1953): *Maşini pentru încercările mecanice ale materialelor*. Ed. Academiei R.P.R., Bucureşti.
50. Gh. Buzdugan, M. Blumenfeld, A. Constantinescu (1955): Dotarea prin mijloace locale a laboratoarelor de rezistenţa materialelor. *Metalurgia şi construcţia de maşini*, *4—5*, 35—42.
51. Gh. Buzdugan (1958): Efectul variaţiei uniforme a temperaturii asupra capacităţii portante a grinzilor solicitate la încovoiere elastico-plastică. *Metalurgia şi construcţia de maşini*, *1*, 21—24.
52. Gh. Buzdugan, A. Constantinescu (1958): Étude des contraintes dans le voisinage des couvertures d'évacuation des fours rotatifs. *Bul. I.P.B.*, **XX**, *3*, 173.
53. Gh. Buzdugan (1960): Largile posibilităţi ale tensometriei electrice. *Metalurgia şi construcţia de maşini*, *2*, 144—148.
54. Gh. Buzdugan, D. Craifaleanu, V. Antonescu, I. Pana, V. Postelnicu (1962): Efecte de concentrare a eforturilor unitare la temperaturi ridicate. *A IV-a Consfătuire de sudură şi încercări de metale*, Timişoara, 12—15 oct. Caiet **II**/*3*, 105—110, Instit. de doc. tehnică, Bucureşti, 1964.
55. Gh. Buzdugan, Şt. Mantea, C. Popovici, M. Blumenfeld, A. Aloman, E. Dumitrescu (1962): Studiu asupra cauzelor ruperii şi posibilităţilor de remediere a unor prăjini de foraj, *Buletinul I.P.B.*, *1*.
56. Gh. Buzdugan, H. Segal, M. Blumenfeld, A. Petre, V. Cosac, E. Dumitrescu, I. Mincă (1965): Studii experimentale de tensometrie şi vibraţii asupra unor grinzi rulante suspendate. *Construcţia de maşini*, *6—7*, 352—356.
56 a. Gh. Buzdugan, M. Blumenfeld (1966): Tensometria electrică rezistivă. Ed. tehnică, Bucureşti.
57. T. Carare (1962): Maşină pentru încercarea la fluaj şi relaxarea a oţelurilor pentru beton precomprimat. *A IV-a Consfătuire de sudură şi încercări de metale*, Timişoara, 12—15 oct., Caiet **II**/*5*, 57—68. Institut de doc. tehnică, Bucureşti, 1964.
58. I. Cazacu, A. Fekete (1958): Cercetări cu privire la influenţa fosforului asupra proprietăţilor mecanice ale fontei cu grafit nodular. *Studii şi cercetări de metalurgie*, *33*, 397—401.

59. A. Constantinescu, M. Blumenfeld (1955): O propunere privind standardizarea epruvetelor pentru încercarea metalelor la oboseală. *Standardizarea, 9.*
60. A. Constantinescu, M. Săvulescu (1956): Metode magnetice și electromagnetice de fluaj DVM în cazul oțelului OLK-1, STAS 1883-50. *Metalurgia și construcția de mașini, 9,* 3—12
61. A. Constantinescu, N. Gruja, N. Lascu (1957): Tehnica încercărilor de fluaj. *Metalurgia și construcția de mașini, 6,* 50—59.
62. A. Constantinescu, N. Laşcu-Simion (1957): Cu privire la valabilitatea limitei de fluaj DVM în cazul oțelului OLK-1, STAS 1883-50. *Metalurgia și construcția de mașini, 3, 1,* 29—35.
63. A. Constantinescu, N. Laşcu-Simion, N. Grzja (1957): Asupra tehnicii încercărilor de fluaj de lungă durată. *Metalurgia și construcția de mașini, 6.*
64. A. Constantinescu, N. Laşcu (1959): Despre fluajul metalelor și importanța lui în domeniul construcțiilor de mașini. *Metalurgia și construcția de mașini, 1,* 38—41, 1959.
65. A. Constantinescu, N. Laşcu-Simion (1962): Contribuții în domeniul cunoașterii solicitării reale a cajei de lucru a unui laminor de tablă subțire la cald. *A IV-a Consfătuire de sudură și încercări de metale,* Timișoara, 12—15 oct., Caiet II/*1,* 85—105, Institut de documentare tehnică, București, 1964.
66. A. Constantinescu, V. Micloși, I. Costăchescu, N. Laşcu-Simion (1963): Influența vitezei de aplicare a sarcinii asupra caracteristicilor de tracțiune ale unor oțeluri cu conținut redus de carbon și 12% crom. *Consfătuire ICEM.*
67. A. Constantinescu, V. Micloși, L. Costăchescu, N. Laşcu-Simion (1963): Studiul caracteristicilor mecanice la cald ale unor oțeluri cu conținut redus de carbon și 12% crom, rezultate din încercări de scurtă durată. *Consfătuire ICEM.*
68. A. Constantinescu, N. Laşcu (1964): Asupra unor chestiuni de metodică privind încercarea de tracțiune la temperaturi ridicate. *Simpozion „Încercarea Metalelor",* Leipzig, ian. 1964.
69. A. Constantinescu, D. Cosma (1964): Asupra caracteristicilor mecanice ale oțelurilor refractare utilizate la temperaturi în jur de 600 °C cu exemplificare pe un oțel martensitic-feritic cu 12% Cr. *Consfătuire ICEM.*
70. A. Constantinescu (1964): Cu privire la încercările tehnologiei destinate a aprecia capacitatea de ambutisare a tablelor subțiri din oțel. *Consfătuire ICEM.*
71. A. Constantinescu, N. Laşcu-Simion (1964): Asupra corelației dintre rezistența la tracțiune și rezistența la oboseală a oțelului 41 C 10. *Cercetări metalurgice, 6,* 465—477.
72. A. Constantinescu, V. Micloși, N. Laşcu-Simion (1964): Studiu comparativ al caracteristicilor mecanice la cald, la încercări de scurtă durată; în cazul a două oțeluri refractare martensito-feritice cu 12% Cr. *Metalurgia, 1,* 9—15.
73. A. Constantinescu, N. Laşcu-Simion (1964): Asupra unor chestiuni de metodică privind încercarea de tracțiune la temperaturi ridicate. *Simpozionul „Încercarea Metalelor",* Leipzig, ian. 1964.
74. A. Constantinescu, D. Cosma (1964): Cercetări privind influența unor elemente de aliere asupra proprietăților oțelului refractar cu 12% Cr. *Simpozionul „Încercarea Metalelor",* Leipzig, ian. 1964.
75. A. Constantinescu, N. Laşcu-Simion (1965): Untersuchung der Langzeitversprödung zweier warmfester Chromstäbe. *Rev. Roum. Sc. Tehn. — Série de Métallurgie,* **10,** *2,* 245—255.
76. A. Constantinescu (1965): Considerații asupra posibilităților de valorificare practică a rezultatelor încercării de fluaj. *A V-a Conferință de Sudură și Încercări de metale,* Timișoara, 337—348.
77. A. Constantinescu, N. Laşcu-Simion (1965): Cercetări privind fragilitatea de fluaj a două oțeluri termostabile aliate cu crom. *A V-a Conferință de Sudură și Încercări de Metale,* Timișoara, 449—465.

78. A. Constantinescu, N. Laşcu-Simion (1965): Asupra formulelor parametrice de extrapolare a rezultatelor încercării de fluaj de lungă durată. *A V-a Conferinţă de Sudură şi Încercări de Metale*, Timişoara, 349—361.

79. A. Constantinescu, L. Staicu, B. Rotenstein (1966): Modifications structurales dans les aciérs thérmostables de type 1 Cr—$^1/_2$ Mo şi $2^1/_4$ Cr-1 Mo pendant le fluage. *Simpozionul „Folosirea razelor X în metalurgie"*, 93 — Glivice.

80. A. Constantinescu, N. Laşcu-Simion (1966): Badanie wzrostu kruchosc wzezasie potzandwu zarowytrzymatych stali chromowych. *Metaloznawstowo Stosowane*, 1/*55*, 25—33.

81. A. Constantinescu, M. Blumenfeld (1966): Calitatea ţevilor sudate electric în corelare cu anizotropia plană a benzilor laminate la cald. *St. cercet. Met.* **11**, *2*, 313.

82. L. Costăchescu (1965): Contribuţii la stabilirea caracteristicilor mecanice de tracţiune la cald ale oţelurilor pentru ţevi. *Cercetări Metalurgice*, *7*, Ed. Tehnică, 239.

83. C. Cuida, N. Avramescu (1964): Influenţa mărimii reducerii unitare la trefilare asupra caracteristicilor mecanice şi tehnologice ale sîrmelor de oţel cu conţinut mediu şi ridicat de carbon. *Revista Metalurgia*, *2*, 58—61.

84. Şt. Cuşuţă, V. Ghiocel (1960): Mărirea durabilităţii pieselor prin ecruisarea cu alice. *Metalurgia şi construcţia de maşini*, *5*.

85. I. Deutsch, I. Goia, A. Grădinaru, T. Neamţu (1965): Determinarea stărilor de solicitare ale longeroanelor ramei autocamionului SR. 131, cu ajutorul tensometriei. *Comunicările celei de-a V-a Conferinţe de sudură şi încercări de metale*. Partea II-a. Încercări de metale, Timişoara, sept. 1965.

86. C. Dohotaru (1955): Aspecte noi în problema măririi rezistenţei la oboseală a metalelor. *Metalurgia şi construcţia de maşini*, *7*, 16—19.

87. N. Drăgan, B. Rothenstein (1958): Susceptibilitatea oţelului de construcţie aliat cu mangan la fragilitatea reversibilă de revenire în funcţie de condiţiile tratamentului termic. *Studii şi cercetări de metalurgie*, *4*, 463—476.

88. I. Drăgan, Şt. Novac, A. Crafti (1966): Consideraţii cu privire la unele metode de determinare a rezistenţei la deformare şi plasticităţii oţelurilor. *Consfătuire ICEM*, 467—478.

89. A. Dreucean (1959): Studiu asupra îmbunătăţirii proprietăţilor mecanice ale oţelurilor prin rulare. *Bul. Ştiinţ. şi Tehn.* al I.P.T., **4**, *18*, 11—121.

90. I. Făcăoaru, C. Negoiţă, Al. Bernath (1965): *Măsurări şi control cu ultrasunete*. Ed. Tehnică, Bucureşti.

91. P. Florican, G. Bratu, M. Oncescu (1962): Calculul defectului minim detectabil. *A IV-a Consfătuire de sudură şi încercări de metale* — Timişoara, 12—15 oct. 1962, Caiet II/*1*, 107—113, Inst. de doc. tehnică, Bucureşti, 1964.

92. P. Florican, I. Olteanu (1962): Instalaţie mobilă pentru gamadefectoscopie tip IFA. *A IV-a Consfătuire de sudură şi încercări de metale* — Timişoara, 12—15 oct. 1962, *Caiet* II/*1*, 115—117. Instit. de doc. tehnică, Bucureşti, 1964.

93. A. Forje (1962): Organizarea controlului sudurilor prin metode nedistructive. *A IV-a Consfătuire de sudură şi încercări de metale* — Timişoara, 12—15 oct. 1962, *Caiet* II/*4*, 39—65. Instit. de doc. tehnică, Bucureşti, 1964.

94. E. Gaiginschi, D. Şerban (1954): Bazele ştiinţifice ale metodei academicianului I. A. Oding pentru stabilirea cauzelor ruperii pieselor de maşini. *Metalurgia şi construcţia de maşini*, *2*, 74—80.

95. E. Gaiginschi, A. Bîrjoianu, P. Theodor (1965): Realizarea unor variante constructive a maşinii de încercat metalele la oboseală, sistem I. V. Kudriavţev. *Metalurgia şi construcţia de maşini*, *3*, 19—23.

96. E. Gaiginschi, T. Dumitrescu, M. Gutman, M. Zugrăvel, A. Bîrjoianu (1959): Aspectul figurilor Akulov-Bitter în cazul deformaţiilor plastice. *Studii şi cercetări de mecanică şi metalurgice*, Iaşi, **10**, *1*, 85—91.

97. E. Gaiginschi, M. Gutman, V. Giurca, S. Mitrea, C. Cojocaru, P. Teodor (1962): Cercetări privitoare la mecanismul fizic al deformației plastice la metale, sub acțiunea solicitărilor variabile. *A. IV-a Consfătuire de sudură și încercare de metale*, Timișoara, 12—15 oct. *Caiet* II/2, 101—108. Institut de doc. tehnică, București, 1964.
98. M. Geller (1952): Despre unele încercări pentru stabilirea influenței ecruisajului de tracțiune asupra rezistenței la oboseală a prăjinilor de foraj. *Studii și cercetări de mecanică și metalurgie, 3—4*, 389—396.
99. E. Geller (1952): Cîteva observații și încercări cu privire la fluajul corzilor de oțel. *Metalurgia*, Revista Tehnică AGIR, *6*, 12—19.
100. E. Geller (1952): Modulul de elasticitate al corzilor de oțel trase la rece. *Metalurgia*, Revistă tehnică AGIR, *7*, 38—42.
101. M. Geller (1953): Despre unele încercări pentru stabilirea efectului simultan al oboselii și coroziunii asupra prăjinilor de foraj ecruisate. *Studii și cercetări de mecanică și metalurgie*, Anul IV, 89—99.
102. M. Geller (1954): Despre unele încercări pentru stabilirea influenței crestăturilor și a coroziunii asupra rezistenței la oboseală a prăjinilor de foraj ecruisate. *Studii și cercetări de mecanică și metalurgie, 3—4*, 393—402.
103. N. Gheorghiu, Al. Cornut (1965): Corelarea capacității portante cu precizia de măsurare la captorii dinamometrici cu traductori rezistivi. *Bul. Științ. și tehn. al Instit. politehnic*, Timișoara, Seria Nouă, **10**, *1*, 123—130.
104. Gr. Giurcăneanu (1959): În legătură cu aplicarea normelor pentru stabilirea calității îmbinărilor sudate cu ajutorul razelor X. *A III-a Consfătuire de sudură și încercări de metale*. Timișoara, vol. III, 113—124.
105. L. Gillemot, Șt. Nădășan (1961): Schlag-Zerreissversuch an gekerbten Proben. *Acta Technika*, Acad. Scient. Hungariae, 197—209.
106. E. Gîrleșteanu (1959): Încercări la oboseală în cazul șinelor sudate. *A III-a Consfătuire de sudură și încercări de metale*, Timișoara, Vol. III, 81—90.
107. R. Grabovsky, A. Băncilă (1958): Controlul îmbinărilor sudate din oțel cu raze X. *Metalurgia și construcția de mașini, 5*, 412—520.
108. R. Grabovsky, V. Popovici (1959): Încercarea sudabilității oțelurilor de construcție la Combinatul Metalurgic Reșița. *A II-a Consfătuire de sudură și încercări de metale*, Timișoara, 17—39.
109. R. Grabovsky, N. Brozina (1959): Cercetarea rezistenței la îmbinările sudate la antretoazele cazanelor de locomotivă. *A II-a Consfătuire de sudură și încercări de metale*, Timișoara, Vol. III, 69—79.
110. M. Grumăzescu, A. Bernath (1965): Controlul nedistructiv cu ultrasunete aplicat în R.P.R. *Construcția de mașini, 6—7*, 301—304.
111. I. Hajdu (1955): Verificarea ciocanelor de rezilienţă cu ajutorul goniometrului. *Studii și cercetări — Științe tehnice, 1—4*, 189—196.
112. I. Hajdu, E. Ioviţiu (1956): Torsiometru mecanic de precizie. *Comunicări științifice și tehnice* I.P.T., anul *I*, 125—133.
113. I. Hajdu, L. Kováts (1960): Încercări asupra tablelor de cazan de locomotivă. *Buletinul științific și tehnic*, I.P.T., Seria Nouă, 5 (19), *1—2*, 105—113.
114. I. Hajdu, Al. Bernath, T. Herlescu (1960): O mașină de încercat la oboseală sub sarcină progresivă. *Studii și cercetări — Științe tehnice, 3—4*, 267—276.
115. I. Hajdu (1961): Considerațiuni asupra determinării limitei de curgere la încovoiere a oțelurilor, pe epruvete cu secțiune circulară. Partea I-a, *Bul. științ. și tehnic* al I.P.T., Seria Nouă, 6 (20), 83—96.
116. I. Hajdu (1961): Considerațiuni asupra determinării limitei de curgere la încovoiere a oțelurilor pe epruvete cu secțiune circulară. Partea II. *Bul. științ. și tehnic* al I.P.T., Seria Nouă, 6 (20), *2*, 101—108.
117. I. Hajdu, A. Tigănoiu (1962) Determinarea limitei de curgere a unor oțeluri cu conținut redus de carbon, în intervalul de temperatură 20—400 °C, prin metoda încărcării progresive. *A IV-a Consfătuire de sudură și încercări de metale*, Timișoara, 12—15 oct., *Caiet* II/3, Institut de documentare tehnică, București 164.

118. I. Hajdu, L. Kováts, P. Nicola (1962): Încercări comparative de fluaj de scurtă și medie durată la un oțel cu conținut redus de carbon. Acad. R.P.R., *Studii și cercet. — Științe tehnice*, Timișoara, 243—259.
119. I. Hajdu (1963): Viteza de fluaj în cursul încercărilor la tracțiune și influența ei asupra limitei de curgere tehnică a unui oțel moale. *Studii și cercetări — Științe tehnice*, *2*, 319—336.
120. I. Hajdu, L. Kováts, P. Nicola, I. Dobre (1964): Încercări comparative de fluaj de scurtă durată și medie durată la un oțel cu conținut redus de carbon. *Bul. științ. tehnic* al Inst. politehnic Timișoara, Seria nouă, 9 (23), vol. spec. 113—126.
121. I. Hajdu (1964): Determinarea limitei de curgere a oțelurilor la temperaturi ridicate prin încercări de fluaj de scurtă durată. *Consfătuire ICEM*, 479—493.
122. I. Hajdu (1964): Verificarea ecuației mecanice de stare și determinarea curbelor de fluaj echivalente pentru temperatura T=400° la un oțel moale. Acad. R.P.R., *Studii și cercet. metalurgice*, București, 289—307.
123. I. Hajdu (1964): Contribuții la studiul influenței temperaturii și vitezei de încărcare asupra limitei de curgere a unui oțel moale. Teză de disertație 1964 — și *Kongress über Materialprüfung*, Band I, Budapesta, 327—341.
124. T. Herlescu (1956): Controlul ultrasonic al cazanelor și recipienților sub presiune. *Consfătuirea de sudură și încercări de metale*, Timișoara, vol. II, 547—559.
125. T. Herlescu, O. Farcașiu (1956): Creșterea eficacității controlului în exploatare feroviară prin defectoscopia ultrasonică. *A V-a consfătuire SIM*, Timișoara, vol. II, 515—532.
126. T. Herlescu (1959): Contribuție la determinarea corecțiilor pentru măsurători electrotensometrice cu timbre pe epruvete în consolă cu secțiuni constante. *Studii și cercetări — Științe tehnice*, *1—2*, 125—132.
127. T. Herlescu (1965): Despre regimul real de solicitare la o mașină pentru încercarea la oboseală prin încovoiere rotativă cu șocuri adiționale. *A V-a Conferință de sudură și încercări de metale*, Timișoara, *2*, 556—565.
128. T. Herlescu (1965): Modificarea curbei de histerezis sub acțiunea solicitărilor de întindere la oțeluri nealiate. *A V-a Conferință de sudură și încercări de metale*, Timișoara, *2*, 547—554.
129. T. Herlescu (1965): Contribuție la analiza erorilor privind determinarea rezistenței la oboseală cu mașini de încovoiere rotativă. *A V-a Conferință de sudură și încercări de metale*, Timișoara, *2*, 567—575 și *Construcții de mașini*, 1965, 515—520.
130. T. Herlescu (1966): Veränderung der Hysteresisschleife durch Zugbeanspruchung unlegierter Stähle. *Rev. roumaine des sciences technique — Série de métallurgie*, 10, 49—58.
131. T. Herlescu (1965): Reducerea abaterilor experimentale la mașinile pentru încercări mecanice la oboseală. *Cercetări metalurgice*, ICEM, *8*, 367—378.
132. T. Herlescu, I. Hajdu, I. Mețiu, I. Dobre (1967): Măsurători electrotensometrice la unele organe de mașini în regim dinamic. *A V-a Conferință de sudură și încercări de metale*, Timișoara, volum suplimentar.
133. B. Horovitz, V. Safta (1962): Studiu experimental asupra unor măsuri constructive pentru mărirea rezistenței la oboseală a pieselor filetate. *Metalurgia și construcția de mașini*, *5*, 426—429.
134. B. Horovitz, F. Kovács, M. Crudu (1965): Încercări în vederea stabilirii influenții solicitării la încovoiere a dintelui asupra fenomenului de pitting la roți dințate cilindrice cu dinți drepți. *Buletinul științific și tehnic* al I.P.T.
135. B. Horovitz, V. Safta (1962): Contribuții la cercetarea efectului unor crestături de descărcare și a rulării asupra rezistenței la oboseală prin încovoiere rotativă a pieselor filetate. *Metalurgia și construcția de mașini*, vol. 14, *11*, 1018—1022.
136. B. Horovitz, F. Kovács (1966): Cu privire la încercarea roților dințate. *Construcția de mașini*, *5—7*.
137. B. Horovitz, M. Crudu, D. Perju, M. Balekics (1966): Aplicarea metodei sarcinii progresive la încercarea roților dințate. *Construcția de mașini*, *10*.

138. Gh. Iliescu, D. Bărbulescu, Gh. Savin, V. Petrescu (1958): Studiul vîscozității magnetice la oțelurile carbon, în funcție de oboseală. *Bul. Inst. Polit.*, Iași, IV, *3—4.*
139. P. Iliescu, C. Rizescu, V. Ursu (1962): Observații pe marginea ruperii la oboseală a unor arbori cotiți de la motoarele diesel. *Metalurgia și construcția de mașini, 7,* 593—599.
140. Gh. Iliescu (1965): O nouă metodă de examinare a rezistenței la oboseală a oțelurilor carbon, bazată pe măsurarea vîscozității magnetice. *A V-a consfătuire SIM,* Timișoara, 1965.
141. I. Iliuc (1957): Aspecte ale frecării în regim limită, studiate pe un cuplu cu trei contacte liniare. *S.C.M.A.,* 3, 755—756.
142. N. Iosipescu (1962): Aplicarea unui procedeu nou de încercare statică la forfecare pură a oțelurilor pentru studiul rezistenței sudurilor în capete. *A IV-a Consfătuire de sudură și încercări de metale,* Timișoara, 12—15 oct. 1962, *Caiet II/3,* 49—70, Institutul de documentare tehnică, București, 1964.
143. N Iosipescu (1962): Cercetări fotoelastice asupra unui procedeu corect de încercare la forfecare pură a materialelor. *Studii și cercetări de mecanică aplicată, 1,* 473—496.
144. E. Ioviţiu, Tache Ana-Maria (1961): Contribuții la studiul proprietăților mecanice ale laminatelor cu conținut de arsen. *Studii și cercetări — Științe tehnice, 3—4,* 271—284.
146. E. Ioviţiu (1964): Influența ecruisării din timpul prelucrării la determinarea rezistenței la oboseală pulsatorie și rezistența la oboseală a unor îmbinări sudate în capete din oțel OL 38 și 17 M 13 determinată pe microepruvete. *Consfătuire ICEM,* 1964.
146. E. Ioviţiu (1965): Contribuții la studiul corelației dintre rezilienta determinată pe epruvete normale și microepruvete. *Construcția de mașini, 6—7,* 364—369.
147. E. Ioviţiu (1965): O contribuție la studiul influenței cuprului asupra caracteristicilor mecanice ale oțelului OLC 35. Academia R.S.R., *Studii și cercetări metalurgice, 2,* 301—312.
148. D. Ivan (1965): Contribuții la determinarea rezistenței la oboseală. *Construcția de mașini, 12,* 738—740.
149. D. Ladany (1939): Ruperea la oboseală a șinelor. *Revista Căilor Ferate, 5.*
150. N. Laşcu-Şimion (1966): Unele probleme privind rezistența la oboseală a unor oțeluri, la temperaturi ridicate. *Cercetări Metalurgice, 8,* 357—366.
151. Gh. Manea (1963): Asupra calculului lagărelor și roților dințate din materiale plastice. *Metalurgia și construcția de mașini, 3,* 238—247.
152. Gh. Manea, R. M. Mustafa, D. Tudor, Gh. Vasilca (1964): Aspecte ale comportării poliamidei cu bucșe pentru lagăre cu alunecare. *Bul. Inst. Politehnic, 1,* 79, București.
153. Şt. Manea (1950): Accidente provocate de obosirea metalelor ; cauze și mijloace de prevenire. *Metalurgia, 3—4.*
154. I. Michels, E. Ioviţiu (1956): Determinarea unei metode de laborator pentru încercarea la uzură a oțelurilor utilizate în construcția mașinilor agrotehnice pentru unelte de lucrare a solului. Academia R.P.R., Baza Timișoara, *Studii și cercetări — Științe tehnice, 3—4,* 87—106.
155. I. Michels, E. Ioviţiu (1958): Rezistențele la uzură abrazivă ale oțelurilor utilizate în construcția brăzdarelor și cormanelor plugurilor. Academia R.P.R., Baza Timișoara, *Studii și cercetări — Științe tehnice, 1—2,* 33—45.
156. I. Michels, E. Ioviţiu (1958): Augmentation de la durée d'utilisation des socs et de versoirs de charme par la soudure de rechargement au moyen d'allîages durs des zones soumises à une usure intense. *Metalurgia și construcția de mașini* — brochure dédiée au congrès annuel de l'Institut International de la Soudure, Vienne 1958, 68—74.
157. E. Mihai (1959): Contribuțiile Centrului de Metrologie Timișoara la construirea mașinilor de încercat. *A III-a Consfătuire de sudură și încercări de materiale,* III, 51—60.

158. C. Mikloşi, C. C. Teodorescu (1926): Contribution à l'étude de la soudure des rails. *Bul. Scient. de l'École politechnique*, Timişoara, **1**, *2*, 225—238.
159. C. Mikloşi (1928): Apareil enregistreur à resort pour les essais de traction des métaux. *Bul. Scient. de l'École Politechnique*, Timişoara, **1**, *4*, 314—430.
160. C. Mikloşi (1928): Calcul de la déformation d'un resort de mesure. *Bul. Scient. de l'École Politechnique*, Timişoara, **2**, 21—25.
161. C. Mikloşi (1930): *Innere Spannungen in Randreifen*, *Verkehrstechnik*. 1930, 337.
162. C. Mikloşi (1938): Însuşirile metalelor şi aliajelor în lumina încercărilor tehnologice. *Sudura*, *1*, **3**, 83—88, *Sudura*, **1**, *4*, 121—129, *Sudura*, **2**, 66—70, *Sudura*, **3**, 93—98 şi *Sudura*, **4**, 143—151.
163. C. Mikloşi (1939): *Maşini pentru încercarea materialelor*. Bul. IBCD, iulie—decembrie
163 a. C. Mikloşi, Şt. Nădăşan (1940): Schienenschweissungen in Rumänien. *Elektroschweissung*.
164. C. Mikloşi (1943): *Obosirea materialului de cale ferată*. Ed. CFR, Bucureşti, 1943.
165. C. Mikloşi (1958): Despre cunoştinţele actuale privind ruperea casantă a oţelului din construcţii sudate. *Studii şi cercetări — Ştiinţe tehnice*, *1—2*, 273—274.
166. C. Mironescu (1885): Formulele de rezistenţă ale lui Winkler bazate pe experienţele lui Wöhler. *Bul. Soc. politehnic*, din România, **87**.
166 a. D. R. Mocanu, M. Buga, C. Georgescu (1966): Determinarea experimentală a eforturilor unitare. Ed. transp. şi telecom., Bucureşti.
167. Z. Müller (1958): Influenţa tehnologiei de prelucrare la cald şi la rece asupra durabilităţii arborilor cotiţi. *Metalurgia şi construcţia de maşini*, *3*.
168. P. Nagy, A. Schaffter (1963): Controlul nedistructiv al arborilor cotiţi la uzinele IS.: Tehnofrig Cluj. *Construcţia de maşini*, *11—12*, 764—767.
169. Şt. Nădăşan (1928): Beitrag zur Untersuchung des Zusammenhanges zwischen Druck- und Biegefestigkeit des Gusseisens. *Die Giesserei*, **53**, 1257, Düsseldorf.
170. Şt. Nădăşan (1930): Der Einfluss der Entschwefelung auf die Festigkeitseigenschaften des Gusseisens. *Bul. Scient. de l'École Politechnique*, Timişoara, **3**, *3—4* 297—333.
171. Şt. Nădăşan (1932): Uber einige Ermüdungs- oder Dauerbrüche. *Bul. Scient. de l'École Politechnique*, Timişoara, **4**, *3—4*, 250—256.
172. Şt. Nădăşan (1932): Beitrag zur Untersuchung des Zusammenhanges zwischen Brinell und Shore-Härte bei Gusseisen. *Bul. Scient. de l'Ecole Politechnique*, Timişoara, **5**, *1*.
173. Şt. Nădăşan (1932): Ruperea unei osii de locomotivă. *Revista CFR*, Bucureşti, **11**, *12*.
174. Şt. Nădăşan (1934): O contribuţie la chestiunea defectării osiilor de vagoane de cale ferată. *Bul. Soc. Politehnice*, **11**, 873—894.
175. Şt. Nădăşan (1937): Beitrag zur Klärung des Zusammenhanges zwischen den Festigkeitseigenschaften der getrennt gegossenen, dem Gussstück angegossenen und aus dem Gussstück selbst herausgearbeiteten Proben. *Bulletin Scientifique de l'Ecole Politechnique*, **7**, *1—2*, 317—364. *Die Giesserei*, Düsseldorf (1938), *9*, 209—215.
176. Şt. Nădăşan (1939): Rezistenţa dinamică a fontei. *Bul. Scient. de l'Ecole Politechnique*, Timişoara, **9**, *1—2*, 140—144 şi **9**, *3—4*, 333—385 şi 1940: Die Schlagfestigkeit des Gusseisens. *Die Giesserei*, Düsseldorf, *15*, 277—284.
177. Şt. Nădăşan (1941): Cercetarea pieselor rupte în serviciu. *Bul. Soc. Polit.* din România, *5*, 74—83.
178. Şt. Nădăşan (1941): Încercarea fontei în caietele noastre de sarcini. *Bul. Soc. Polit.*, România, Bucureşti, *6*, 84—108.
179. Şt. Nădăşan, Gh. Savii (1943): Încercări asupra lipiturilor moi. *Sudura*, **4**, *3—4*, 51—60.
180. Şt. Nădăşan (1949): *Topirea fontei cu adaos de oţel*. Analele CFR.
181. Şt Nădăşan (1955): Încercările şi controlul construcţiei sudate. *I-a Consfătuire de sudură*, Timişoara, 4—6 sept., 221—241.
182. Şt. Nădăşan, E. Iovitiu (1956): Contribuţii la studiul influenţei distanţei între reazeme asupra rezistenţei la încovoiere a probelor de fontă. *Comunicări ştiin-*

*ţifice şi tehnice*, IPT, *1*, 136—147 şi *Freiberger Forschungs-Hefte*, B *45*, 1960, 80—85.

183. Şt. Nădăşan, Gh. Buzdugan (1956): Înzestrarea laboratoarelor de încercări de materiale cu utilaje fabricate în ţară. *A II-a consfătuire de sudură şi încercări de metale*, Timişoara, Vol. II, 437—482.

184. Şt. Nădăşan, I. Hajdu (1956): Un aspect nou al rezistenţei la oboseală. *Studii şi cercetări — Ştiinţe tehnice, 1—2*, 29—42 şi *Stahl und Eisen*, 77 (1957), *16*, 1092—1093.

185. Şt. Nădăşan (1956): Încercări la oboseală la solicitări ciclice şi combinate asupra oţelurilor pentru osii de vagoane de cale ferată. *Studii şi cercetări — Ştiinţe tehnice, 1—2*, 43—56.

186. Şt. Nădăşan (1958): Încercările mecanice pentru controlul îmbinărilor sudate. *Metalurgie şi construcţie de maşini, 5*, 406—411.

187. Şt. Nădăşan (1958): O acţiune de colaborare în domeniul încercărilor la oboseală. *Metalurgia şi construcţia de maşini, 7*, 599—600.

188. Şt. Nădăşan, E. Ioviţiu, M. Raţiu, I. Michels (1958): Cercetări asupra sudării oţelului OLK 52. *Studii şi cercetări — Ştiinţe tehnice, 1—2*, 11—32.

189. Şt. Nădăşan, I. Hajdu (1958): Influenţa variaţiei raportului dintre frecvenţa şocurilor adiţionate şi a solicitărilor ciclice asupra durabilităţii oţelurilor. *Studii şi cercetări — Ştiinţe tehnice, 3—4*, 9—22.

190. Şt. Nădăşan, Al. Bernath, E. Ioviţiu (1960): Examinarea rezistenţei la oboseală a oţelurilor de calitate nealiate fabricate în R.P.R. Acad. R.P.R., *Bulet. inform. şi Inst. şt. rom.-sov.*

191. Şt. Nădăşan (1960): Consideraţii asupra duratei de viaţă a osiilor vehiculelor de cale ferată. *Sympozium o unave*, Praha, 213—237 şi *I. Anyagvizsgáló Kongresszus elöadásai*, Budapest, 1960.

192. Şt. Nădăşan, Al. Bernath, E. Ioviţiu (1960): Studiul comportării la oboseală a oţelurilor carbon de calitate fabricate în R.P.R. Partea I (Oţelurile în stare normalizată). *Studii şi cercetări — Ştiinţe tehnice, 1—2*, 7—26.

193. Şt. Nădăşan (1961): Importanţa laboratoarelor de uzină la introducerea tehnicii noi. *Standardizarea, 2*, 54—58.

194. Şt. Nădăşan, E. Ioviţiu (1961): Contribuţii la studiul oţelului OLX 52 cu adaos de titan. *Studii şi cercetări — Ştiinţe tehnice, 1—2*, 17—30.

195. Şt. Nădăşan, Al. Bernath, E. Ioviţiu, V. Safta (1961): Studiul comportării la oboseală a oţelurilor carbon de calitate, fabricate în R.P.R., Partea II-a (Oţelurile în stare îmbunătăţită). *Studii şi cercetări — Ştiinţe tehnice, 3—4*, 247—266.

196. Şt. Nădăşan, B. Rothenstein, B. Horovitz, V. Safta (1961): Mărirea rezistenţei la oboseală prin acoperiri electrolitice cu un aliaj Ni—Fe. *Studii şi cercetări — Ştiinţe tehnice, 3—4*, 267—270 şi *Anyagvizsgáló Kongr. Elöadásai*, Budapest, 1961, 67—71.

197. Şt. Nădăşan, Al. Bernath, B. Horovitz, V. Safta (1962): *Oboseala metalelor*, Ed. Tehnică, Bucureşti.

198. Şt. Nădăşan, Al. Bernath, E. Ioviţiu, V. Safta (1962): Contribuţii la determinarea rezistenţei la oboseală la oţelurile nealiate fabricate în R.P.R. *A. IV-a consfătuire de sudură şi încercări de metale*, Timişoara, 12—15 oct., *Caiet* II/2, 139—150, Instit. de doc. tehnică, Bucureşti, 1964.

199. Şt. Nădăşan, B. Horovitz, B. Rothenstein, V. Safta, A. Golea (1962): Influenţa compoziţiei stratului de Ni—Fe asupra rezistenţei la oboseală a unui oţel carbon de calitate. *Studii şi cercetări — Ştiinţe tehnice, 9, 1—2*, 29—32.

200. Şt. Nădăşan, B. Rothenstein, B. Horovitz, V. Safta, A. Golea (1962): Mărirea rezistenţei la oboseală prin acoperiri electrolitice cu aliaje Ni—Fe. *A IV-a consfătuire de sudură şi încercări de metale*, Timişoara, 12—15 oct., *Caiet* II/2, 151—159.

201. Şt. Nădăşan, L. Boleanţu, N. Gheorghiu (1963): Eroarea totală de indicaţie a extensometrului Martens cu pîrghie dublă. *Buletin* I.P.T., Timişoara, *Anyagvizsgáló Kongr. Elöadásai*, Budapest, 1961.

202. Șt. Nădășan (1963): Incercări cu saboți de frînă pentru vagoane de cale ferată din fontă modificată fosforoasă. *Deutsche Eisenbahntechnik*, Berlin.
203. Șt. Nădășan și colab. (1963): Cercetări asupra rezistenței la oboseală a oțelurilor. *Metalurgia și construcția de mașini, 3*, 229—238.
204. Șt. Nădășan, B. Rothenstein, B. Horovitz, V. Safta, I. Kremer, A. Golea (1963): Influența hidrogenului catodic asupra rezistenței la oboseală a unui oțel carbon acoperit pe cale electrolitică cu Ni. *Studii și cercetări — Științe tehnice, 2*, 245—252.
205. Șt. Nădășan (1964): Considerații asupra stadiului cercetărilor pentru evidențierea susceptibilității la ruperea casantă a oțelurilor în R.P.R. *Construcția de mașini*, București.
206. Șt. Nădășan, B. Horovitz, B. Rothenstein, J. Kremer (1964): Influența acoperirii electrolitice cu Ni—Fe asupra rezistenței la oboseală a epruvetelor cu concentratori. *Buletinul Științific și tehnic al Inst. Politehnic*, Timișoara, Seria Nouă, 9/*23*, volum special, 132—140.
207. Șt. Nădășan, A. Tigănoiu (1964): Despre influența conținutului de fosfor asupra proprietăților mecanice ale fontelor modificate cu silicocalciu și prin barbotare ca azot. *Cercetări de metalurgie, 6*, 377—383 și *Consfătuire ICEM*.
208. Șt. Nădășan, L. Boleanțu (1964): O mașină pentru studiul rezistenței la oboseală a sîrmelor din oțel ținînd seama de presiunea de contact. *Cercetări metalurgice*, ICEM, *6* și *Consfătuire ICEM*, 419—432
209. Șt. Nădășan, V. Safta (1965): Contribuții la determinarea lucrului mecanic specific de rupere la încercarea de tracțiune statică. *Construcția de mașini, 6—7*, 345—351.
210. Șt. Nădășan, L. Boleanțu (1965): *Studii și cercetări de rezistență și încercări de materiale*, 1923—1965, Ed. Didactică și Pedagogică.
211. Șt. Nădășan și colaboratori (1965): *Încercări și analize de metale*. Ed. tehnică, București.
212. Gr. M. Năstase (1962): Asupra parametrilor optimi în defectoscopia cu raze X și gama. *SCMA, 2*.
213. Gr. M. Năstase (1963): Unele aspecte privind controlul defectoscopic al bielelor de tractor prin gamagrafie. *Rev. Construcția de mașini, 11*.
214. Gr. M. Năstase, M. Vidan (1964): Variația coeficienților de absorbție la razele X în funcție de grosimea materialului absorbant, *SCMA, 3* și *RMA, 4*.
215. Gr. M. Năstase (1966): Unele rezultate privind coeficienții de absorbție în defectoscopia nedistructivă prin gamagrafie. *Rev. Tehnică Nucleară, 4*.
216. Gr. M. Năstase (1966): Influența voalului inițial în defectoscopia nedistructivă prin gamagrafie. *Com. Sesiunii șt. a Inst. politehnic*, București (1965) și *Conferința a V-a pentru încercări de metale* de la Magdeburg (1966).
217. Gr. M. Năstase (1966): Demonstrarea variației coeficienților de absorbție cu grosimea materialului absorbant la radiațiile policromatice, *Doc. IIS*—V, 340—66.
218. Gr. M. Năstase (1967): Stabilirea pe cale radiometrică a condițiilor de utilizare optimă a surselor radioactive în gamadefectoscopie, *SCMA, 2*.
219. Gr. M. Năstase (1967): Stadiul actual al cercetărilor în domeniul încercărilor nedistructive cu radiații penetrante. *Studii și cercetări de metalurgie, 1, 2*.
220. S. Novac, O. Cuida, M. Lazicin (1962): Cercetări privind mărirea durabilității cablurilor de tracțiune. *Conferința ICEM*.
221. D. Pavelescu (1957): Principalii parametri ai uzurii suprafețelor plane în mișcare alternativă de alunecare. Instalație de modelare și măsură, (I) *SCMA, 3*.
222. D. Pavelescu (1962): Utilizarea izotopilor radioactivi la studierea așchierii metalelor. *Tehnica nucleară*, 5, 10, 603—606.
223. D. Pavelescu, I. Iliuc, S. Barbul (1963): Installation for determination the lubricating qualities of oils and the resistance to wear of materials. *Brevet* Anglia Nr. 935058/1963 și Franța nr. 1.324.106.
224. D. Pavelescu, I. Iliuc (1963): Aspecte ale evoluției uzurii și temperaturii unor cupluri radioactive bronz-oțel. *SCMA, 1*, 95—101.

225. D. Pavelescu (1963): Cu privire la erorile de măsură și ponderea acestor erori în cazul studiului uzurii cu izotopi radioactivi *SCMA, 3,* 625.
226. D. Pavelescu (1965): Aspecte ale dependenței perioadei inițiale a uzurii de factorii mecanici și chimici în cazul frecării de alunecare mixte sau limită. *SCMA, 3,* 570—572 și *A V-a conferință de sudură și încercări de metale,* Timișoara, 1965, 611—620.
227. D. Pavelescu (1965): Aspecte ale evoluției uzurii legate de caracterul statistic al metodei de măsură cu izotopi radioactivi. *SCMA, 6.*
228. D. Pavelescu (1966): Studiul cercetărilor în domeniul uzurii. Evoluția concepțiilor asupra frecării. *Stud. și cerc. de metalurgie, 1,* 95—119.
229. D. Pavelescu (1966): Evoluția și stadiul cercetărilor asupra uzurii. Aspecte metalurgice ale frecării și uzurii. *Stud. și cerc. de metalurg., 2,* 340—370.
230. D. Pavelescu (1966): Metode de calcul la uzură și utilizarea în construcția de mașini, *SCMA, 3,* 861—878.
231. D. Pavelescu (1966): Cu privire la aparatura experimentală destinată studiilor de frecare și uzură, *SCMA,* **22,** *4,* 1133—1161.
232. D. Percea, W. Leonhardt (1956): Soluții practice de ameliorare a rezistenței la oboseală prin măsurări constructive și tehnologice. *Metalurgie și construcția de mașini, 7.*
233. A. Petre (1956): Încercări nedistructive ale structurilor de rezistență ale avioanelor prin tensometrie. *Consfătuirea de sudură și încercări de metale,* Timișoara, Vol. II, 375—380.
234. C. Popescu (1953): Ruperea de obosire și posibilitățile de mărire a rezistenței la oboseală. *Revista Căilor Ferate, 7.*
235. R. Prexl (1962): Considerații asupra construcțiilor de dinamometre eliptice. *A IV-a Consfătuire de sudură și încercări de metale,* Timișoara, 12—15 oct., *Caiet* II/*5,* 85—100. Inst. de doc. tehn., București, 1964.
236. V. Pribnow (1959): Superioritatea controlului nedistructiv ultrasonic asupra celorlalte metode de defectoscopie nedistructivă. *Metalurgia și construcția de mașini, 5,* 408—411.
237. M. Rațiu (1956): Încercarea la tracțiune a țevilor din oțel. *A II-a Consfătuire de sudură și încercări de metale,* Timișoara, 381—395.
238. M. Rațiu (1956): Construcția aparatului etalon pentru scara de duritate Rockwell. *Metrologia aplicată,* **3,** *10,* 3—8.
239. M. Rațiu (1957): Propuneri pentru standardizarea epruvetelor pentru încercarea la tracțiune a țevilor de oțel. *Standardizarea,* **9,** *3,* 110—115.
240. M. Rațiu (1957): Erorile de măsurare la încercarea de rezilienă. *Metrologia aplicată,* **4,** *3,* 11—18.
241. M. Rațiu (1958): Despre standardizarea încercărilor la oboseală prin încovoiere rotativă. *Standardizarea,* **10,** *7,* 337—344.
242. M. Rațiu, R. Slătineanu (1958): Considerații în legătură cu încercările standardizate de rezilienă. *Standardizarea,* **10,** **5,** 209—214 și **6,** 273—278.
243. M. Rațiu (1958): Problemele standardizării încercărilor mecanice ale sudurilor prin topire. *Standardizarea,* **10,** *11,* 538—543.
244. M. Rațiu, R. Slătineanu (1959): Încercări comparative de rezilienă pe epruvete ISO și Mesnager. *Standardizarea,* **11,** *4,* 167—173.
245. M. Rațiu (1959): Determinarea durității după metoda Vickers cu sarcini mici. *A III-a consfătuire de sudură și încercări de metale,* Timișoara, *3,* 41—47.
246. M. Rațiu (1962): Despre încercările mecanice cu epruvete mici. *A IV-a consfătuire de sudură și încercări de metale.* Timișoara, 12—15 oct,, II, *3/4,* 69—85.
247. M. Rațiu (1962): Considerații asupra rezistenței lanțurilor sudate electrice prin topire intermediară. *A IV-a consfătuire de sudură și încercări de metale,* Timișoara, 12—15 oct., II, *4/4,* 75—87.
248. M. Rațiu, R. Prexl (1962): Despre determinarea limitei de proporționalitate la oțeluri. *Comunicări și realizări, Institutul de metrologie,* București, 133—150.
249. M. Rațiu, D. Stoiciu (1962): Mașinile cu încărcări directe pentru etalonarea dinamometrelor. *Comunicări și realizări, Institutul de metrologie,* București, 123—133.

250. M. Raţiu (1962): Incercarea durităţii pe suprafeţe curbe. *Standardizarea*, **14**, *11*, 565—574.
251. M. Raţiu (1962): Realizarea aparatelor etalon pentru măsurarea statică a durităţii (Rockwell şi Vickers). *Comunicări şi realizări, Institutul de metrologie*, Bucureşti, 36—44. *Schweitzer Archiv, 1*, 25—27.
252. M. Raţiu, S. Tîrnea (1962): Influenţa energiei potenţiale a ciocanelor pendul asupra încercărilor de rezilienţă. *A IV-a consfătuire de sudură şi încercări de metale*, Timişoara, 12—15 oct. 1962, **II**, *3/5*, 83—103 şi *Feingerätetechnik*, **12**, *10*, 1963, 440—445.
253. M. Raţiu, V. Rona (1962): Determinarea durităţii bilelor. *A IV-a consfătuire de sudură şi încercări de metale*. Timişoara, 12—15 oct., **II**, *3/4*, 71—82.
254. M. Raţiu (1964): Despre precizia reproducerii unităţilor de duritate Rockwell. *Cercetări metalurgice*, ICEM, *6*, 507—517.
255. M. Raţiu, R. Prexl (1964): Consideraţii asupra rezistenţei la strivire a oţelurilor nealiate. *Cercetări metalurgice*, ICEM, **6**, 407—417.
256. M. Raţiu, R. Prexl (1964): Influenţa vitezei de încărcare asupra măsurării durităţii Rockwell. *Studii şi cercetări de metalurgie* şi *Feingerätetechnik*, **13**, *11*, 1964 şi *Rev. Roum. des sciences techn.*, **9**, *2*, 275—288 şi **9**, *2*, 1964, 291—304.
257. M. Raţiu, N. Fîntănaru (1964): Consideraţii asupra preciziei dinamometrului cu mărci tensometrice. *Metrologia aplicată*, **11**, *9*, 390—398 şi *Ştiinţe şi cercetări de metrologie*, 1966.
258. M. Raţiu (1965): Maşină pentru etalonarea dinamometrelor cu izolarea mecanismului de încărcare. *Metrologia aplicată*, **12**, *1*, 9—14 şi în *Studii şi cercetări de metrologie*, Instit. de metrol. 1966, 231—240.
259. M. Raţiu, R. Prexl (1965): Introducerea reglementării ciclului de încărcare la determinarea durităţii Rockwell. *Construcţia de maşini, 6—7*, 357—364. *Revue de métallurgie, 10*, 1965, 939—943. *Conferinţa a V-a de sudură şi încercări de metale*, II, 1965, 149—160.
260. M. Raţiu (1965): Incercări de oboseală sub presiune de contact oscilantă. *Cercetări metalurgice*, ICEM, *7*, 213—225.
261. M. Raţiu, V. Lambert (1965): Consideraţii asupra reproducerii scării de duritate Brinell. *Studii şi cercetări de metalurgie*, **10**, *2*, 287—300.
262. M. Raţiu (1966): Notwendige Belastungsbedingungen bei der Härtemessung. *Feingerätetechnik*, **15**, *11*, 525—527, *12*, 1966, 529—531.
263. M. Raţiu, V. Rona (1966): Analiza uniformităţii plăcuţelor etalon de duritate fabricate în ţară. *Realizări şi cercetări*. Instit. de metrologie, Bucureşti.
264. M. Raţiu (1967): Reproducerea scărilor de duritate în încercările mecanice ale metalelor. *Teză de doctorat*, Institutul politehnic, Timişoara.
265. D. Raseev (1960): Studiul îmbunătăţirii cuplului cămaşă piston la pompele de extracţie. *Sesiunea Jubiliară*, IMA I/3.
267. M. Rusu (1964): Despre fenomenul de oboseală al podurilor metalice. *Revista căilor ferate, 4*.
268. V. Safta, Al. Bernath (1963): Contribuţii la determinarea rezistenţei la oboseală prin încercarea cu încărcare continuă progresivă. *Studii şi cercetări — Ştiinţe tehnice, 1*, 49—56.
269. V. Safta (1963): Influenţa unor segregaţi de sulf asupra rezistenţei la oboseală. *Studii şi cercetări — Ştiinţe tehnice, 2*, 283—292.
270. V. Safta, Al. Bernath (1965): Metode de determinare rapidă a rezistenţei la oboseală. *Construcţia de maşini, 2*, 64—72.
271. V. Safta, Al. Bernath (1966): Ein neues Kriterium zur Bestimmung des zäh-spröden Verhaltens der Metalle. *Revue roumain de sci. techn. — Série de Métalurgie*, vol. **II**, *1*, 59—76.
272. I. Schächter (1957): Studiul posibilităţii de determinare rapidă a rezistenţei materialelor la oboseală. *Metalurgia şi construcţia de maşini, 1*, 35—40.
273. Şt. Scînteie (1964): Contribuţii la sporirea eficienţei controlului defectoscopic prin metoda pulberilor magnetice. *Construcţia de maşini, 9*, 513—518

274. T. Seceleanu (1955): Tratamentul termic superficial prin curenți de înaltă frecvență pentru ameliorarea rezistenței la oboseală. *Volum consfătuire ASIT*, București, 1955.
275. B. Sergescu (1935): Oboseala oțelurilor. *Buletinul Societății politehnice din România*, Anul **XLIX**, *12*, 1203—1247, *11*, 1084—1129.
276. C. Severineanu, Șt. Nădășan (1941): O contribuție la chestiunea defectării osiilor de motoare de automotoare. *Bulletin Scientifique de l'École Politechnique*, de Timișoara, **10**, *1—2*, 167—178.
277. A. Simion, Șt. Kovács, O. Balint, O. Ciortea (1959): Realizarea unei instalații electronice pentru încercări la oboseală pe bază de oscilații întreținute la rezonanță. *Lucrări științifice*, Institutul politehnic, Cluj.
278. R. Slătineanu (1965): Stadiul actual al standardizării încercărilor de metale în R.P.R. *Construcția de mașini*, *6—7*, 305—309.
279. L. Sofronie (1956): Influența fosforului asupra proprietăților mecanice și de uzură ale fontei cu grafit nodular. *Metalurgia și construcția de mașini*, *5*, 32—38.
280. L. Staicu (1965): O metodă de analiză röntgenostructurală a carburilor din oțeluri. *Metalurgia*, *7*, 363—365.
281. C. Ștefănescu (1957): Ruperea la solicitări variabile a unui ax port elice de la un șlep motor. *Revista transporturilor*, *9*.
282. R. Stere, I. Felea, D. Negreanu (1959): Realizări ale ICET-ului în domeniul încercărilor cu ultrasunete. *A III-a Consfătuire de sudură și încercări de metale*, Timișoara, **III**, 108—111.
283. P. Sulea, Al. Tigănoiu (1961): Studiul îmbunătățirii calităților de exploatare ale saboților turnați din fontă, utilizați la frînarea vagoanelor de cale ferată. Nota I. *Studii și cercetări — Științe tehnice*, *1—2*, 31—42.
284. P. Sulea, Al. Tigănoiu (1961): Studiul îmbunătățirii calităților de exploatare ale saboților turnați din fontă utilizați la frînarea vagoanelor de cale ferată. Nota II. *Studii și cercetări — Științe tehnice*, *3—4*, 285—314.
285. P. Sulea, Al Tigănoiu (1962): Studiul îmbunătățirii calităților de exploatare ale saboților turnați din fontă, utilizați la frînele tramvaielor. Partea I-a. Încercări de laborator. *Studii și cercetări — Științe tehnice*, **IX**, *1—2*, 135—142.
286. P. Sulea, Al. Tigănoiu (1963): Studiul îmbunătățirii calităților de exploatare ale saboților turnați din fontă, utilizați la frînarea tramvaielor. Partea II-a. Încercări.
287. P. Sulea, Al. Tigănoiu (1963): Studiul îmbunătățirii calităților de exploatare ale saboților turnați din fontă utilizați la frînarea tramvaielor. Partea III-a. *Studii și cercetări — Științe tehnice*, *2*, 293—306.
288. P. Sulea (1964): Cercetări de laborator și experimentări în exploatare privind comportarea saboților din fonte modificate cu conținut ridicat de fosfor pentru vehiculele de șină. *Cercetări metalurgice*, ICEM, *6*, 79—93.
289. P. Sulea (1965): Considerații asupra rezistenței la uzură și coeficientului de frecare ale unor materiale aglomerate ca înlocuitoare ale fontei la saboți talpă pentru vagoane de tramvai. *Construcții de mașini*, *4*, 189—195.
290. Gh. Savii, P. Sulea, Al. Tigănoiu, G. Micșa (1963): Studiul coeficientului de frecare și al uzurii la discurile de fricțiune de la suspensia locomotivelor diesel-electrice. *Buletin I.P.T.*
291. C. C. Teodorescu (1920): Un nou coeficient de elasticitate. *Buletinul Societății Politehnice din România*, Anul **XXXIV**, *7—8*, 531—534.
292. C. C. Teodorescu (1927): Essais mécaniques de matériaux faits dans le laboratoire de *l'École*. *Buletin Scientifique de l'École Politechnique de Timișoara*, *3*, 265—276.
293. C. C. Teodorescu (1928): Étallonage d'une machine de traction. *Buletin Scientifique de l'École Politechnique de Timișoara*, **1**, *4*, 307—317.
294. C. C. Teodorescu (1930): Sur le groupement des écarts accidentels des mésures. *Bulletin Scientifique de l'École Politechnique de Timișoara*, **3**, *3—4*, 249—256.
295. C. C. Teodorescu (1931): Statistica și controlul fabricației. *Buletin UDR*, Studii și memorii, Reșița.

296. C. C. Teodorescu (1931): Cercetări în număr mare asupra unor analize de oțel. *Stahl und Eisen*, Düsseldorf.
297. C. C. Teodorescu (1931): Primul congres al Noii Asociații Internaționale pentru încercarea materialelor. *Buletinul Societății Politehnice*, Anul XLV, *9*, 975.
298. C. C. Teodorescu (1932): Riscul de refuz față de condițiile caietelor de sarcini. *Revista Techn. CFR*, București.
299. C. C. Teodorescu (1932): La corrélation statistique. *Bulletin Scientifique de l'Ecole Politechnique*, *3—4*, 202—218.
300. C. C. Teodorescu (1933): Recepția materialului și valorificarea datelor obținute. Buletinul Societății Politehnice din România, Anul XLVII, *7*, 519—542.
301. C. C. Teodorescu (1932): Incercarea unei grinzi cu zăbrele sudate. Buletinul Societății politehnice din România, Anul XLVI, *3*, 362.
302. C. C. Teodorescu (1933): Aparate de precizie de invenție și construcție românească. Buletinul Societății politehnice din România, Anul XLVII, *11*, 990—996.
303. C. C. Teodorescu (1933): Rélation éntre la résistance et l'allongement. Bulletin Scientifique de l'École Politechnique 5, *1—2*, 88—96.
304. C. C. Teodorescu (1933): Sur la comparaison de deux série de mesures. Bulletin de Mathématique et de Physique Pure et Appliquées de l'École Politechnique de Bucarest, IV-ème Anée, 1, *10*, 21.
305. C. C. Teodorescu (1933): Confronto fra due tipi di barrette per prove di resilienza, *La metalurgia italiana*, *1*.
306. C. C. Teodorescu (1933—1934): Rélation statistique entre la résistance, l'allongement et la contraction d'une barre d'acier. *Bulletin de Mathématique et de Physique Pure et Appliquée de l'Ecole Politechnique de Bucarest*, V-ème Année, *1*, 19—27.
307. C. C. Teodorescu (1934): Interpretarea rezultatelor măsurătorilor la încercări de materiale. *Bulletin Scientifique de l'Ecole Politechnique*, 5, *3—4*, 196—204.
308. C. C. Teodorescu (1935): *Anuarul laboratorului de rezistență și încercări de materiale* 1924—1934 — Tipografia românească, Timișoara.
309. C. C. Teodorescu (1935): Încercările pentru recepția de șine. *Revista CFR*, București.
310. C. C. Teodorescu (1935): Note asupra corelației. *Mathematica*, București.
311. C. C. Teodorescu (1935): Incercările de materiale și aviația. *România Aeriană*, București.
312. C. C. Teodorescu (1936): Recepția șinelor și aplicația practică a rezultatelor obținute. *III-ème Journée internationale du rail*, Budapest.
313. C. C Teodorescu (1937): Asupra curbei normale de frecvență. *Comptes rendus des séances de l'Acad. des sciences de Roumanie*, București.
314. C. C. Teodorescu (1937): Congresul Asociației internaționale pentru încercarea materialelor. Londra 1937 — *Buletinul IBCD*, Ianuarie—martie.
315. C. C. Teodorescu (1937): Incercările de materiale și aviația. (Conferință). *Buletinul Societății Politehnice din România*, Anul II, *8*, 631—638.
316. C. C. Teodorescu (1937): Erori de încercare, dispersie de rezultate, probabilitate de abatere. *Internat. Asoc. for testing materials*, London.
317. C. C. Teodorescu (1937): Congresul internațional de încercări de materiale. *Buletinul Societății Politehnice din România*, Anul II, *10*, 745—752.
318. C. C. Teodorescu (1938): Etalonarea mașinilor de încercat. *Buletinul Societății Politehnice din România*, Anul LII, *6*, 602—617.
319. C. C. Teodorescu (1938): O aplicație la principiul de egală probabilitate. *Bull. Math. de la soc. roum. des sciences*, București.
320. C. C. Teodorescu, Șt. Nădășan (1938): Despre comparația cantitativă a segregațiilor în profile laminate. *Abhandlungen des Internationalen Schienenkongresses*, Düsseldorf.
321. C. C. Teodorescu (1939): Etalonarea mașinilor de încercat. *Bul. IBCD*, ianuarie—martie.

322. C. C. Teodorescu (1959): Verificarea teoriei prin măsurători experimentale făcute pe o porțiune de la cale ferată sudată. *A II-a Consfătuire de sudură și încercări de metale*, Timișoara, *3*, 3—9.
323. M. Teodorescu (1966): Privire critică asupra metodelor de laborator pentru evidențierea tendinței de rupere fragilă la rece a oțelurilor. *Cercetări metalurgice, 8.*
324. N. Tipei, N. N. Constantinescu, Al. Nica, O. Biță (1961): *Lagăre cu alunecare*, Ed. Academiei R.P.R., 36—37, 373—397.
325. Gh. Tricar (1958): Tratament mecanic pentru ameliorarea rezistenței la oboseală, *Volum Consfătuire ASIT*, București 1958.
326. M. Tripa, Gh. Harnagea (1965): Determinarea eforturilor unitare cu ajutorul razelor Roentgen. *Construcția de mașini, 4*, 303—307.
327. M. Tripa, Gh. Harnagea (1964): Metode pentru determinarea eforturilor unitar în piese cu ajutorul razelor Roentgen. *Construcția de mașini, 8*, 443—447.
328. E. Tulbure (1962): Considerații cu privire la elaborarea unui normativ pentru aprecierea naturii, mărimii și poziției defectelor din cusăturile sudate cu ajutorul ultrasunetelor. *A IV-a Consfătuire de sudură și încercări de metale*, Timișoara, 12—15 oct. 1962. *Caiet II/4*, 103—122. Institutul de documentare tehnică, București, 1964.
329. Gh. Vasilca, O. Biță (1967): *Procese de lubrificație, frecare și uzură la suprafețe metalice*. Ed. Academiei, 1967.
330. L. Vasu (1931): Despre oboseala materialelor, în special a oțelurilor canelate pentru arcuri. *Buletinul Societății politehnice din România*, anul **XLV**, *7*, 637—657.
331. M. Vlădescu (1966): Alegerea metodelor de control nedistructiv în industria construcțiilor de mașini. *Construcția de mașini, 9*, 536—541.
332. C. Wanyorek (1962): Studiul posibilităților de ameliorare a proprietăților mecanice ale fontelor cenușii normale prin tratamentul termic de îmbunătățire. *Metalurgia și construcția de mașini, 2*, 110—119.
333. ★ ★ ★ (1908): Incercarea materialelor metalice. *Buletinul Societății Politehnice din România, 93.*
334. * * * (1940): Studiul comparativ al diferitelor procedee de sudură aplicată șinelor de cale ferată. *Sudura, 4*, 115—145.
335. ★ ★ ★ (1949): Influența conținutului de cupru asupra rezistenței la rupere și asupra alungirii specifice la oțelul Martin. *Metalurgia, Revistă tehnică*, AGIR, **2**, 65—74.
336. * * * (1955): I-a Consfătuire de sudură. Timișoara (Litografia IPT).
337. ★ ★ ★ (1956): II-a Consfătuire de sudură și încercări de metale, Timișoara (Litografia IPT).
338. ★ ★ ★ Instrucțiuni 122 din 1958 pentru verificarea mașinilor de încercare la oboseală prin încovoiere rotativă, D.G.M.S.I., București.
339. ★ ★ ★ (1959): III-a Consfătuire de sudură și încercări de metale, Timișoara (ASIT, Timișoara 1961).
340. ★ ★ ★ (1964): IV-a Consfătuire de sudură și încercări de metale, Timișoara, 1962, caiet I/1 ... I/8 și II/1 ... II/15 (IDT București, 1964).
341. ★ ★ ★ (1965): V-a Conferință de sudură și încercări de metale, Timișoara, sept., (CCT, Timișoara).

# NOI RELAȚII MATEMATICE PRIVITOARE LA FLOTAȚIA ÎN FLUX CONTINUU

I. HUBER PANU, Membru corespondent al Academiei Republicii Socialiste România

Se stabilește o ecuație generală care exprimă extracția de substanță utilă ce se obține într-o instalație de flotație funcționînd în flux continuu în funcție de parametrii caracteristici procesului, în cazul general cînd flotabilitatea diferitelor particule de substanță minerală utilă este o funcțiune de frecvență oarecare. Făcînd o ipoteză asupra expresiei acestei funcțiuni și folosind unele constatări experimentale privind variația, de la celulă la celulă, a parametrilor caracteristici funcționării în flux continuu în regim staționar, se deduc ecuații care permit calculul extracției de substanță utilă realizată într-o instalație funcționînd în flux continuu cu un număr oarecare de celule, în funcție de un număr redus de parametri ce pot fi determinați experimental folosind o singură celulă.

Într-o lucrare anterioară [1] s-au stabilit relații care permit calculul extracției de substanță utilă ce se obține într-o instalație de flotație cu un număr oarecare de celule pe baza unor date experimentale ce pot fi determinate folosind o singură celulă.

La stabilirea relațiilor la care ne referim [1] s-a făcut ipoteza că, în urma acțiunii reactivilor adăugați în tulbureală, toate particulele de substanță utilă flotabile au aceeași flotabilitate, ceea ce presupune că proprietățile lor superficiale sînt identice. Această ipoteză nu corespunde în foarte multe cazuri realității, în primul rînd din cauza neomogenității suprafeței chiar a grăunților de aceeași specie minerală și de aceeași mărime. Măcinarea, care precede flotația, nu realizează o desfacere completă a asociației minerale ; dar chiar suprafețele grăunților constituiți în întregime din același mineral nu au proprietăți superficiale identice, căci la măcinare separarea grăunților nu se face exact după planurile de clivaj, astfel că, în diferite părți ale suprafeței grăunților, particulele constitutive ale rețelei cristaline pot fi situate în grupări diferite. Pe lîngă aceasta, neomogenitatea suprafeței grăunților aceluiași mineral se datorește numeroaselor microdefecte din rețeaua cristalină, existenței a numeroase fisuri de diferite forme și mărimi

pe suprafețele grăunților, prezenței unor impurități pe aceste suprafețe, precum și gradului diferit de alterare a acestor suprafețe. Proprietățile superficiale ale diferiților grăunți pot diferi și datorită energiei care se transmite suprafețelor grăunților prin acțiunea de frecare, de intensitate diferită, pe care o suferă mineralele în timpul măcinării.

Toate aceste neomogenități influențează mult gradul de udare și procesul de fixare al reactivilor la suprafața grăunților minerali și ca urmare fac ca energia de adeziune a mineralului la bulele de aer, timpul de inducție și ceilalți factori hotărîtori pentru flotație să aibă valori sensibil diferite la diferiții grăunți ai aceluiași mineral. De aceea, aceste diferențe de flotabilitate nu trebuie neglijate în relațiile care exprimă rezultatele foltației.

In cele ce urmează vom considera cazul general cînd flotabilitatea diferitelor particule de substanță utilă este diferită și vom stabili relații generale care exprimă extracția de substanță utilă realizată, în flux continuu, într-o instalație de flotație cu un număr oarecare de celule. Din aceste relații se vor deduce formule care permit calculul extracției de substanță utilă fără ca pentru aceasta să fie nevoie decît de date experimentale ce se pot obține folosind o singură celulă.

In acest scop vom considera o mașină de flotație multicelulară funcționînd în flux continuu și în regim staționar și vom folosi relația :

$$m = \psi\left[1 - \prod_{i=1}^{n} \frac{1-(1-f_i)\,\tau_i K_i}{1+f_i r_i \tau_i K_i}\right] \qquad (1)$$

stabilită [1] pentru material monodispers sau pentru o clasă granulometrică a unui material polidispers și care exprimă extracția de substanță utilă m în funcție de :

$n$ — numărul de celule identice așezate în serie în care se realizează extracția m ;

$f_i$ — parametru caracterizînd concentrația medie în celula i, putînd avea valori cuprinse între 0 cînd concentrația este egală cu aceea a tulburelii de alimentare a celulei considerate și 1 cînd concentrația este egală cu aceea a tulburelii de evacuare a celulei ;

$r_i$ — raportul dintre debitul $Q_{i-1}$ de tulbureală care intră în celula i și debitul $Q_i$ de tulbureală care iese din aceeași celulă

$$r_i = \frac{Q_{i-1}}{Q_i}, \qquad (2)$$

$\tau_i$ — durata medie de rămînere a tulburelii în celula i, care în funcție de volumul $V_i$ de tulbureală aflată în celulă, este :

$$\tau_i = \frac{V_i}{Q_{i-1}}, \qquad (3)$$

$\psi$ — raportul dintre numărul de particule de substanță utilă flotabile și numărul total de particule de substanță utilă care corespund conținutului de substanță utilă a materialului de alimentare;

$K_i$ — parametru caracterizînd condițiile de aerație și agitație din celula i precum și flotabilitatea substanței utile, exprimat prin:

$$K_i = k_i N_i \varphi_i \tag{4}$$

în care $k_i$ este [2] o constantă depinzînd de probabilitatea producerii ciocnirii dintre particulele de substanță utilă și bulele de aer în unitatea de timp, $N_i$ este numărul de bule de aer ce se găsesc în tulbureala aerată din celula i, iar $\varphi_i$ este raportul, considerat pentru celula i, dintre numărul de ciocniri care au ca rezultat producerea adeziunii particulelor la bulele de aer și menținerea acestei adeziuni pînă ce colectarea concentratului a avut loc și numărul total de ciocniri dintre particulele de substanță utilă și bulele de aer.

Mărimea $\varphi_i$ depinde deci de probabilitatea realizării favorabile a fenomenelor care se succed după producerea ciocnirii între particula minerală și bula de aer, pînă ce colectarea concentratului produs de mașina de flotație a avut loc. În ordinea succesiunii lor, aceste fenomene sînt:

— adeziunea particulei la bulă, ceea ce implică subțierea și ruperea stratului hidrat de la suprafața particulei și formarea contactului trifazic stabil. Probabilitatea realizării acestui fenomen depinde în primul rînd de energia de adeziune a particulei la bulă și de timpul de inducție;

— menținerea adeziunii particulei la bulă pînă ce complexul bulă-particulă a ajuns la baza coloanei de spumă, aflată la partea superioară a tulburelii. Energia de adeziune, mărimea particulei și mărimea bulei sînt factori hotărîtori de care depinde rezistența deziunii la acțiunea forțelor de desprindere datorite gravitației, frecărilor și forțelor de inerție;

— menținerea adeziunii particulei la bulă în coloana de spumă, în contra acțiunii de desprindere exercitată de curenții de apă ce se scurg între bule și de către procesul de coalescență a bulelor. Realizarea acestui fenomen depinde în mare măsură de energia de adeziune.

Din cele de mai sus rezultă că $\varphi_i$ depinde în primul rînd de proprietățile superficiale ale particulelor minerale determinante pentru producerea și menținerea adeziunii la bulele de aer. Am arătat că aceste proprietăți superficiale nu pot fi, în multe cazuri, considerate identice, datorită neomogenității suprafeței chiar a particulelor de aceeași specie minerală și mărime.

Faptul că $\varphi$ nu are aceeași valoare pentru toate particulele de substanță utilă rezultă și din mai multe studii privitoare la cinetica flotației printre care din acelea care au arătat că ecuația cineticii flotației

$$m = \psi(1 - e^{-Kt}) \tag{5}$$

(unde $K = kN\varphi$) nu este verificată satisfăcător de datele experimentale. Această neconcordanță între teorie și experiență se explică prin faptul că ecuația precedentă a fost stabilită [2] în ipoteza că la toate particulele de

substanță utilă corespunde aceeași valoare pentru mărimea $\varphi$ ceea ce, pentru motivele arătate mai sus, nu corespunde realității în foarte multe cazuri.

De aceea vom presupune cazul general cînd valorile lui $\varphi$ corespunzătoare diferitelor particule de substanță utilă existente în materialul de alimentare al flotației (respectiv într-o clasă granulometrică, dacă materialul e polidispers) sînt cuprinse între 0 și o valoare oarecare $\varphi_z$, după o distribuție continuă exprimată printr-o funcție de frecvență $f(\varphi)$. Dacă $z_0$ este numărul acestor particule vom avea

$$z_0 = \int_0^{\varphi_z} f(\varphi)\, d\varphi .$$

Extracția $m_\varphi$, realizată în n celule, corespunzătoare numai particulelor de substanță utilă care au aceeași flotabilitate, adică care au aceeași valoare a lui $\varphi$, este dată de relația (1) în care mărimea $K_i$ corespunde valorii $\varphi$, adică

$$K_i = k_i N_i \varphi . \tag{6}$$

Extracția m de substanță utilă, realizată în primele n celule, corespunzătoare întregului material tratat, respectiv unei clase granulometrice a lui în cazul cînd materialul e polidispers, va fi

$$m = \frac{1}{z_0} \int_0^{\varphi_z} m_\varphi f(\varphi)\, d\varphi$$

sau

$$m = \frac{\psi}{z_0} \int_0^{\varphi_z} \left[ 1 - \prod_{i=1}^{n} \frac{1-(1-f_i)\tau_i K_i}{1+f_i r_i \tau_i K_i} \right] f(\varphi)\, d\varphi \tag{7}$$

sau

$$m = \frac{\psi}{z_0} \int_0^{\varphi_z} \left[ 1 - \prod_{i=1}^{n} \frac{1-\alpha_i \varphi}{1+\beta_i \varphi} \right] f(\varphi)\, d\varphi \tag{8}$$

în care am făcut notațiile

$$\alpha_i = k_i N_i (1-f_i)\tau_i \qquad \beta_i = k_i N_i f_i r_i \tau_i . \tag{9}$$

Relația (8) are un caracter general. Ea permite să se deducă extracția de substanță utilă corespunzătoare funcției de frecvență $f(\varphi)$ și valorilor tuturor parametrilor de care depinde desfășurarea flotației în fiecare celulă.

Pentru a înlesni utilizarea acestei relații vom observa mai întîi că celulele fiind identice și condițiile de aerație și agitație a tulburelii aceleași, mări-

mile $k_i$, $N_i$ și $f_i$ pot fi considerate că au aceleași valori k, N și f la toate celulele.

In ceea ce privește variația parametrilor $r_i = \frac{Q_{i-j}}{Q_i}$ de la celulă la celulă, pentru motivele arătate în lucrarea [1], se poate considera că acești parametrii au aceeași valoare r la toate celule. Celulele fiind identice și condițiile de aerație a tulburelii aceleași, volumul ocupat de tulbureală are aceiași valoare V în toate celulele. Ca urmare din (2) și (3) rezultă

$$\tau_i = r\tau_{i-1}$$

din care se deduce

$$\tau_i = r^{i-1}\tau. \tag{10}$$

Pe baza acestor considerații notațiile (9) se pot scrie :

$$\alpha_i = kN(1-f)r^{i-1}\tau \qquad \beta_i = kNfr^{i-1}\tau. \tag{11}$$

Acestea sînt deci expresiile coeficienților $\alpha_i$ și $\beta_i$ din relația (8) în ipotezele făcute.

După cum s-a arătat într-o lucrare anterioară [3], în multe cazuri se poate admite că frecvența variabilei $\varphi$ se menține constantă între 0 și o valoare oarecare $\varphi_z$. In această ipoteză s-a stabilit [3] că ecuația cineticii flotației este :

$$m = \psi\left[1 - \frac{1}{K_z t}(1 - e^{-K_z t})\right] \tag{12}$$

unde t este timpul de flotație, $\psi$ are semnificația cunoscută și constanta $K_z$ se exprimă prin :

$$K_z = kN\varphi_z. \tag{13}$$

Făcînd aceeași ipoteză și pentru funcția de frecvență $f(\varphi)$ cuprinsă în relația (8), din această relație se deduce :

$$m = \psi\left[1 - \frac{1}{\varphi_z}\int_0^{\varphi_z}\prod_{i=1}^{n}\frac{1-\alpha_i\varphi}{1+\beta_i\varphi}\,d\varphi\right] \tag{14}$$

Efectuînd integrarea, ținînd seama de (11) și (13) și făcînd notațiile :

$$a_i = (1-f)r^{i-1}\tau \qquad b_i = fr^i\tau \tag{15}$$

relația (14) devine :

$$m = \psi\sum_{i=1}^{n} B_i\left[1 - \frac{\ln(1+b_iK_z)}{b_iK_z}\right] \tag{16}$$

în care $B_i$ sînt constante date de relațiile :

$$B_1 = \frac{\prod_{h=1}^{n}\left(1+\frac{a_h}{b_1}\right)}{\left(1-\frac{b_2}{b_1}\right)\left(1-\frac{b_3}{b_1}\right)\cdots\left(1-\frac{b_k}{b_1}\right)\cdots\left(1-\frac{b_n}{b_1}\right)}$$

$$B_2 = \frac{\prod_{h=1}^{n}\left(1+\frac{a_h}{b_2}\right)}{\left(1-\frac{b_1}{b_2}\right)\left(1-\frac{b_3}{b_2}\right)\cdots\left(1-\frac{h_k}{b_2}\right)\cdots\left(1-\frac{b_n}{b_2}\right)} \qquad (17)$$

$$B_k = \frac{\prod_{h=1}^{n}\left(1+\frac{a_h}{b_k}\right)}{\left(1-\frac{b_1}{b_k}\right)\left(1-\frac{b_2}{b_k}\right)\cdots\left(1-\frac{b_{k-1}}{b_k}\right)\left(1-\frac{b_{k+1}}{b_k}\right)\cdots\left(1-\frac{b_n}{b_k}\right)}$$

$$B_n = \frac{\prod_{h=1}^{n}\left(1+\frac{a_h}{b_n}\right)}{\left(1-\frac{b_1}{b_n}\right)\left(1-\frac{b_2}{b_n}\right)\cdots\left(1-\frac{b_k}{b_n}\right)\cdots\left(1-\frac{b_{n-1}}{b_n}\right)}$$

Din relația (16) se deduce că în cazul unei singure celule funcționînd în flux continuu, extracția de substanță utilă $m_1$ realizată este

$$m_1 = \psi\left[1-\frac{(1-f)}{fr}\right]\left[1-\frac{\ln(1+fr\tau K_z)}{fr\tau K_z}\right]. \qquad (18)$$

Mai mulți autori [4], [5], bazîndu-se pe puternica acțiune de amestecare pe care o exercită rotoarele mașinilor de flotație consideră că concentrația medie a tulburelii din interiorul fiecărei celule de flotație este egală cu concentrația medie a tulburelii evacuate din celula respectivă. În cazurile cînd se constată acest lucru sau se admite această ipoteză, extracția de substanță

utilă ce se obține cu n celule este dată de relația (16) în care, făcîndu-se f=1, constantele devin:

$$a_i = 0 \qquad b_i = r^i\tau$$

$$B_1 = \frac{1}{(1-r)(1-r^2)\dots(1-r^{n-1})}$$

$$B_k = \frac{1}{\left(1-\frac{1}{r^{k-1}}\right)\left(1-\frac{1}{r^{k-2}}\right)\dots\left(1-\frac{1}{r}\right)(1-r)\dots(1-r^{n-k})} \tag{19}$$

$$B_n = \frac{1}{\left(1-\frac{1}{r}\right)\left(1-\frac{1}{r^2}\right)\dots\left(1-\frac{1}{r^{n-1}}\right)}.$$

Constantele $\psi$ și $K_z$ se pot determina cu ajutorul ecuației (12) pe baza datelor experimentale obținute cu încercări în flux discontinuu cu o singură celulă.

În aceeași ipoteză, extracția de substanță utilă $m_1$, realizată într-o singură celulă, funcționînd în flux continuu, este

$$m_1 = \psi\left[1 - \frac{\ln(1+r\tau K_z)}{r\tau K_z}\right] \tag{20}$$

dedusă din ecuația (18) în care s-a făcut f=1.

În cazul cînd se poate presupune că $\varphi$ este același la toate celulele, ecuația cineticii flotației este (5), stabilită pentru funcționarea în flux discontinuu. În această ipoteză privitoare la $\varphi$, ținînd seama de (10) și (15), din relația (1) se deduce:

$$m = \psi\left[1 - \prod_{i=1}^{n}\frac{1-a_iK}{1+b_iK}\right] \tag{21}$$

unde $\psi$ și K sînt aceleași constante care intervin și în ecuația (5).

Din relația precedentă se deduce că în cazul unei singure celule funcționînd în flux continuu extracția $m_1$ de substanță utilă realizată este

$$m_1 = \psi\frac{[fr+(1-f)]\tau K}{1+fr\tau K_z} \tag{22}$$

În ipoteza făcută, dacă se admite în plus că în interiorul celulelor conținutul mediu de substanță utilă al tulburelii este egal cu acel al tulburelii evacuate de celula considerată, din relația (21) rezultă că extracția de substanță utilă ce se obține în n celule este dată de relația

$$m = \psi\left[1 - \frac{1}{\prod_{i=1}^{n}(1+r^i\tau K)}\right]. \tag{23}$$

Relațiile stabilite mai sus pentru extracția de substanță utilă presupun că materialul care se flotează este monodispers. În cazul unui material polidispers, extracția de substanță utilă m este dată, cu o mai mare exactitate, de relația :

$$m = \frac{1}{100\,\alpha} \sum_{h=1}^{h=q} \alpha_h p_h m_h \qquad (24)$$

în care $m_h$ este extracția de substanță utilă corespunzătoare fiecăreia din cele q clase granulometrice din care este constituit materialul, exprimată de relațiile stabilite mai sus. În relația precedentă $\alpha$ este conținutul de substanță utilă a materialului tratat, în procente, $\alpha_h$ conținutul de substanță utilă al clasei granulometrice h, în procente, $p_h$ raportul dintre greutatea clasei granulometrice h și greutatea întregului material, în procente.

Ecuațiile (1) și (8) au caracter general. Ele țin seama de parametrii caracteristici flotației în flux continuu, în mai multe celule și anume : concentrația medie în substanță utilă în fiecare celulă, micșorarea debitului de tulbureală datorită concentratului ce se separă și durata medie de rămînere a tulburelii în fiecare celulă. Ele țin de asemenea seama de condițiile de aerație și agitație din celulele mașinii, precum și de caracteristicile materialului tratat cum este flotabilitatea diferită a diferitelor particule de substanță utilă în condițiile create prin acțiunea reactivilor adăugați, existența unei părți din substanța utilă sub formă de particule neflotabile etc.

Ecuația (1) exprimă procesul flotației atunci cînd nu se face nici o ipoteză privind variația parametrilor de la celulă la celulă. De aceea folosirea ei reclamă determinarea unui număr mare de date experimentale.

Ecuația generală (8) permite să se deducă expresia extracției de substanță utilă oricare ar fi funcția de frecvență care exprimă flotabilitatea diferitelor particule de substanță utilă și oricare ar fi variațiile, de la celulă la celulă, a parametrilor care caracterizează procesul.

Ecuațiile (16) și (21) au avantajul că toți coeficienții pe care îi conțin pot fi determinați pe baza datelor experimentale obținute cu o singură celulă. Într-adevăr, la amîndouă ecuațiile, parametrii $\psi$ și K, respectiv $K_z$ în cazul ecuației (16), se pot determina folosind ecuația (5), respectiv ecuația (12) și rezultatele unor încercări în flux discontinuu cu o singură celulă. Întrucît parametrii f, r, $\tau$ au aceeași valoare la toate celulele, coeficienții $a_i$ și $b_i$ nu diferă de la celulă la celulă decît numai prin valoarea lui i, ceea ce face ca toți acești coeficienți să poată fi determinați prin încercări executate cu o singură celulă, funcționînd în flux continuu și folosind, după caz, fie relația (18), fie relația (22).

În cazul cînd f nu se poate determina direct prin probe luate din tulbureala din celulă, el se poate deduce, după caz, fie din relația (18), fie din relația (22), pe baza valorilor celorlalți parametri $\psi$, K (respectiv $K_z$), r, $\tau$ și $m_i$ determinați experimental cu o singură celulă.

Avînd în vedere că atît considerațiile teoretice cît și verificările experimentale au arătat [3] că ecuația cineticii flotației (12) are un larg domeniu

de valabilitate, este de așteptat ca și ecuația (16) să prezinte același caracter. Pentru mai puține substanțe minerale, ecuația (21) ar putea să reprezinte cu destulă exactitate procesul. Verificarea valabilității uneia sau alteia din relațiile (16) și (21) se poate face cu ușurință pe cale indirectă, verificînd valabilitatea ecuațiilor cinetice (12), respectiv (5), în care scop sînt suficiente încercări de flotație discontinuă cu o singură celulă. În cazul cînd nici una din aceste relații n-ar reprezenta cu destulă exactitate cinectica flotației materialului respectiv, va trebui să se cerceteze [6] care este funcția de frecvență $f(\varphi)$ care corespunde cineticii flotației acelui material și să se folosească ecuația generală (8), ai cărei coeficienți pot fi determinați pe bază de încercări cu o singură celulă.

## BIBLIOGRAFIE

1. I. Huber Panu (1966): *Revue roumaine des sciences techniques. — Série de métallurgie*, Academia R.P.R., **11**, 2, 105—112.
2. I. Huber Panu (1956): *Comunicările Academiei R.P.R.*, **6**, *1*, 115—122.
3. I. Huber Panu (1965): *Freiberger Forschungshefte*, A 335, Leipzig, 159—169.
4. A. M. Gaudin (1957): *Flotation*, Ed. Mc.Graw-Hill, New-York, 369—370.
5. O. S. Bogdanov, B. V. Kizevalter, V. I. Hainman (1961): *Tvetnîe metallî*, **34**, 7, 4—10.
6. I. Huber Panu (1964): *Revue roumaine des sciences techniques. — Série de métallurgie*, Academia R.P.R., **9**, **1**, 3—16.

# ASUPRA CORELAȚIEI DINTRE PROPRIETĂȚILE MECANICE, STRUCTURĂ ȘI SUBSTRUCTURĂ A ȚEVILOR ÎN URMA TRATAMENTULUI TERMOMECANIC

N. DRĂGAN, M. L. BERNȘTEIN
*I.C.E.M., București* *Moscova, U.R.S.S.*

In lucrare sînt prezentate rezultatele studiului röntgenostructural și ale analizei structurii la microscopul electronic a țevilor supuse tratamentului termomecanic la temperaturi înalte. Pe baza acestor rezultate s-a stabilit că obținerea în urma aplicării tratamentului termomecanic a unor proprietăți mecanice superioare, este determinată în deosebi de fragmentarea structurii grăunților austenitici în timpul deformării plastice la temperaturii ridicate. Densitatea imperfecțiunilor submicrostructurale în structura țevilor tratate termomecanic este mai ridicată decît în urma tratamentului termic obișnuit.

Aplicarea tratamentului termomecanic în cazul țevilor laminate la cald din oțelurile DB, 36G2S și 38HNM a condus la obținerea unor proprietăți mecanice superioare celor obținute în urma aplicării tratamentului de călire obișnuită și revenire [1], [2]. In același timp s-a constatat că efectul favorabil al ecruisajului asupra proprietăților mecanice obținute în urma tratamentului termic al țevilor laminate la cald este foarte stabil. Efectuarea tratamentului termic al țevilor răcite încet după laminare, după varianta TT1 — încălzire 30 min la temperatura de 1 113 °K (840 °C), călire în apă, revenire la temperaturi cuprinse între 373 și 837 °K (100—60 °C) — a condus la obținerea unor proprietăți mecanice inferioare celor obținute în urma TTM (tabela 1), însă considerabil superioare celor care se obțin de obicei pe oțeluri similare din punctul de vedere al compoziției chimice. Efectuarea tratamentului conform variantelor care includ în plus, în scopul de a înlătura efectul ecruisajului, o normalizare (TT2) sau o recoacere intermediară (TT3), la temperatura de 1 153 °K (880 °C) a determinat într-adevăr o micșorare a valorilor proprietăților mecanice față de valorile obținute după varianta TT1. Aceste proprietăți se mențin încă la un nivel suficient de ridicat. Valori comparabile cu cele ale proprietăților mecanice obținute pentru oțeluri analoge au fost obținute doar după efectuarea tratamentului termic conform variantei TT4, care prevedea efectuarea, înaintea călirii, a unei normalizări

intermediare la temperatura de 1 373 °K (1 100 °C), în scopul înlăturării texturii intragranulare [3].

În experiențele efectuate după variantele TT2 și TT3, materialul a fost supus unei normalizări și, respectiv, unei recoaceri suplimentare, care ar fi trebuit să conducă în mod firesc la o oarecare îmbunătățire a proprietăților mecanice în comparație cu proprietățile obținute în urma variantei de tratament fără normalizare intermediară TT1 și, totuși, valorile proprietăților mecanice au fost mai ridicate în urma variantei TT1. Acest fapt demonstrează că în cazul variantei TT1, efectul favorabil al ecruisajului la cald asupra proprietăților mecanice nu a fost pe deplin înlăturat, cu toate că procesul recristalizării de coalescență s-a dezvoltat într-o măsură considerabilă în timpul încălzirii ulterioare pentru călire.

La prima vedere, acest fapt pare surprinzător, deoarece majoritatea cercetătorilor consideră că decurgerea recristalizării de coalescență determină completa înlăturare a efectului favorabil al ecruisajului. Totuși în literatură nu sînt date aprecieri cantitative, cu referire la gradul de înlăturare al efectului favorabil al ecruisajului asupra proprietăților mecanice în urma desfășurării proceselor de recristalizare. Din contra, există unele date care confirmă marea stabilitate termică a ecruisajului la cald chiar în condițiile decurgerii recristalizării de coalescență. Spre exemplu, rezultatele obținute de către Duckworth, Leack și Phillips [4] arată că și după efectuarea unei o a doua încălziri, timp de 30 min, pentru călirea sîrmei ecruisate din oțelurile En24 și En30B, limita de curgere se obține cu circa 200 MN/m² (20 kgf/mm²) mai ridicată decît în urma călirii obișnuite a materialului neecruisat. De asemenea, posibilitatea menținerii parțiale a efectului ecruisajului în condițiile decurgerii recristalizării de coalescență este confirmată, direct sau indirect, și de rezultatele obținute de către alți cercetători [5]—[7].

Acest fenomen al stabilității mari a efectului ecruisajului la cald, chiar în condițiile desfășurării proceselor de recristalizare nu a fost pînă în momentul actual pe deplin explicat. Scopul prezentei lucrări a fost acela de a găsi o corelație între valorile proprietăților mecanice și stabilitatea mare a ecruisajului la cald, pe de o parte, și între elementele structurii și substructurii materialului supus tratamentului termomecanic și termic, pe de altă parte.

## MATERIALUL ȘI METODICA DE CERCETARE

Cercetările au fost efectuate pe țevi din oțelul „DB" (0,44% C, 0,32% Si și 1,10% Mn) de 114×9 mm, laminate la cald din semifabricate cu diametrul de 130 mm. Parametrii procesului de laminare la cald sînt dați în lucrarea [1]. Tratamentul termic după laminarea la cald s-a efectuat conform următoarelor variante:

1) călire imediat după laminare, revenire la temperaturi cuprinse între 373 și 873 °K (100—600 °C) (TTM);

2) încălzire pentru austenitizare timp de 30 min la 1 113 °K (840 °C), a țevilor răcite lent după laminare, călire în apă, revenire la temperaturi cuprinse între 373 și 873 °K (100—600 °C) (TT1);

3) normalizare timp de 1 h la 1 153 °K (880 °C), iar în continuare același tratament ca în cazul variantei 2 (TT2);

4) recoacere timp de 1 h la 1 153 °K (880 °C), iar în continuare același tratament ca în cazul variantei 2 (TT3);

5) normalizare timp de 1 h la 1 373 °K (1 100 °C), iar în continuare același tratament ca în cazul variantei 2 (TT4).

Proprietățile mecanice obținute în urma efectuării acestor variante de tratament termic sînt redate în tabela 1, analiza detaliată a acestor rezultate fiind prezentată în lucrările [1], [2].

Studiul morfologiei structurii martensitice, obținute în urma aplicării tratamentului termic și termomecanic cu revenire la temperatura de 373 °K (100 °C), s-a efectuat la un microscop electronic de tipul JEM-6A cu putere de rezoluție de 12 A. Examinarea structurilor s-a făcut la măriri pînă la 20 000 : 1, iar fotografierile au fost efectuate la mărirea de 8 500 : 1. Replicile au fost obținute prin metoda celor două trepte : volatilizarea termică în vid a carbonului pe o bandă de gelatină și apoi umbrirea replicilor cu crom. Desprinderea replicii umbrite de pe banda cu gelatină s-a realizat prin dizolvarea gelatinei în apă fierbinte. Grosimea replicilor a fost de aproximativ 200 A.

Prin analiza röntgenostructurală s-a determinat lățirea fizică a liniilor de interferență (110) și (211) după toate variantele de tratament termic și termomecanic. În vederea cercetării anizotropiei structurii fine a probelor supuse tratamentului termomecanic, lățirea fizică a liniilor de interferență a fost determinată pe două suprafețe reciproc perpendiculare : A — suprafața de laminare și B — suprafața frontală, perpendiculară pe direcția de laminare ; pentru variantele de tratament termic determinările s-au făcut numai pe suprafața A.

Analiza röntgenostructurală a fost efectuată la o instalație de ionizare de tipul URS-50I, în radiație de cobalt și cu înregistrator electronic automat al röntgenogramelor. Determinările s-au efectuat pe probe de $10 \times 4 \times 20$ mm, șlefuite pe hîrtie și apoi atacate electrolitic într-un reactiv din 60% $H_3PO_4$ și 40% $H_2SO_4$ pentru înlăturarea stratului ecruisat pe o adîncime de circa 0,3 mm.

În calitate de etalon a servit o probă din același oțel, călită și revenită timp de 10 h la 923 °K (650 °C).

Calculul lățimii liniilor a fost efectuat cu ajutorul metodei grafice de planimetrare a suprafeței curbei de intensitate și apoi împărțirea acestei suprafețe la înălțimea maximului intensității. Calculul erorilor introduse în valoarea lățimii liniilor de către nemonocromatismul radiației s-a efectuat după metoda aproximației, descrisă în lucrările [8], [9]. Deoarece raportul Bo/bo (lățimea liniilor de interferență a probei și respectiv, a etalonului,

*Tabela 1*

**Proprietăţile mecanice ale ţevilor din oţel DB obţinute în urma aplicării diferitelor variante de tratament termic**

| Varianta de tratament | Temperatura de revenire, °K (°C) | $\sigma_r$ | | $\sigma_c$ | | $\delta$, % | $\psi$, % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | MN/m² | kgf/mm² | MN/m² | kgf/mm² | | |
| TTM | 373 (100) | 2 350 | 240 | 1·780 | 182 | 6,8 | 27,5 |
| TT1 | | 2 090 | 213,5 | 1 750 | 178,5 | 4 | 7 |
| TT2 | | 1 915 | 195,5 | | rupere prematură | | |
| TT3 | | 1 930 | 197 | | rupere prematură | | |
| TT4 | | 1 250 | 127,5 | | rupere prematură | | |
| TTM | 473 (200) | 2 100 | 214,5 | 1 730 | 176,5 | 8,0 | 31,5 |
| TT1 | | 2 040 | 208 | 1 720 | 175,5 | 7,5 | 29 |
| TT2 | | 1 930 | 197 | 1 645 | 168 | 6,5 | 28 |
| TT3 | | 1 980 | 197,5 | 1 665 | 170 | 4,5 | 19 |
| TT4 | | 1 285 | 131 | | rupere prematură | | |
| TTM | 573 (300) | 1 810 | 184,5 | 1 590 | 162 | 8 | 36 |
| TT1 | | 1 705 | 174 | 1 520 | 155 | 7 | 34 |
| TT2 | | 1 665 | 170 | 1 515 | 154,5 | 6,5 | 35 |
| TT3 | | 1 685 | 172 | 1 520 | 155 | 6 | 25 |
| TT4 | | 1 450 | 148 | 1 235 | 126 | 5 | 27 |
| TTM | 673 (400) | 1 460 | 149 | 1 320 | 134,5 | 8,5 | 41 |
| TT1 | | 1 250 | 127,5 | 1 165 | 119 | 11,5 | 44,5 |
| TT2 | | 1 300 | 132,5 | 1 190 | 121,5 | 9 | 42 |
| TT3 | | 1 285 | 131 | 1 175 | 120 | 6 | 44,5 |
| TT4 | | 1 245 | 127 | 1 095 | 112 | 8 | 36 |
| TTM | 773 (500) | 1 060 | 108 | 930 | 95 | 11,5 | 50 |
| TT1 | | 1 075 | 109,5 | 990 | 101 | 12,5 | 54,5 |
| TT2 | | 1 035 | 105,5 | 900 | 92 | 12 | 54,5 |
| TT3 | | 1 000 | 102 | 910 | 93 | 12 | 55,5 |
| TT4 | | 995 | 101,5 | 870 | 89 | 11 | 48 |
| TTM | 873 (600) | 890 | 91 | 780 | 79,5 | 14,5 | 59 |
| TT1 | | 825 | 84 | 725 | 74 | 17 | 61 |
| TT2 | | 830 | 84,5 | 710 | 72,5 | 15,5 | 61 |
| TT3 | | 825 | 84 | 720 | 73,5 | 15,7 | 60 |
| TT4 | | 805 | 82 | 690 | 70,5 | 14,5 | 60 |

corectate la monocromatism) a avut, îndeosebi după revenirile la temperaturi mai mari de 773 °K (500 °C), valori mai mici de trei unităţi, pentru a micşora eroarea de determinare a raportului $\frac{\Delta\beta}{\beta}$, lăţimea liniilor de interferenţă $\beta_{110}$ şi $\beta_{211}$ s-a determinat prin calcul după formula :

$$\beta = \sqrt{Bo^2 - bo^2}.$$

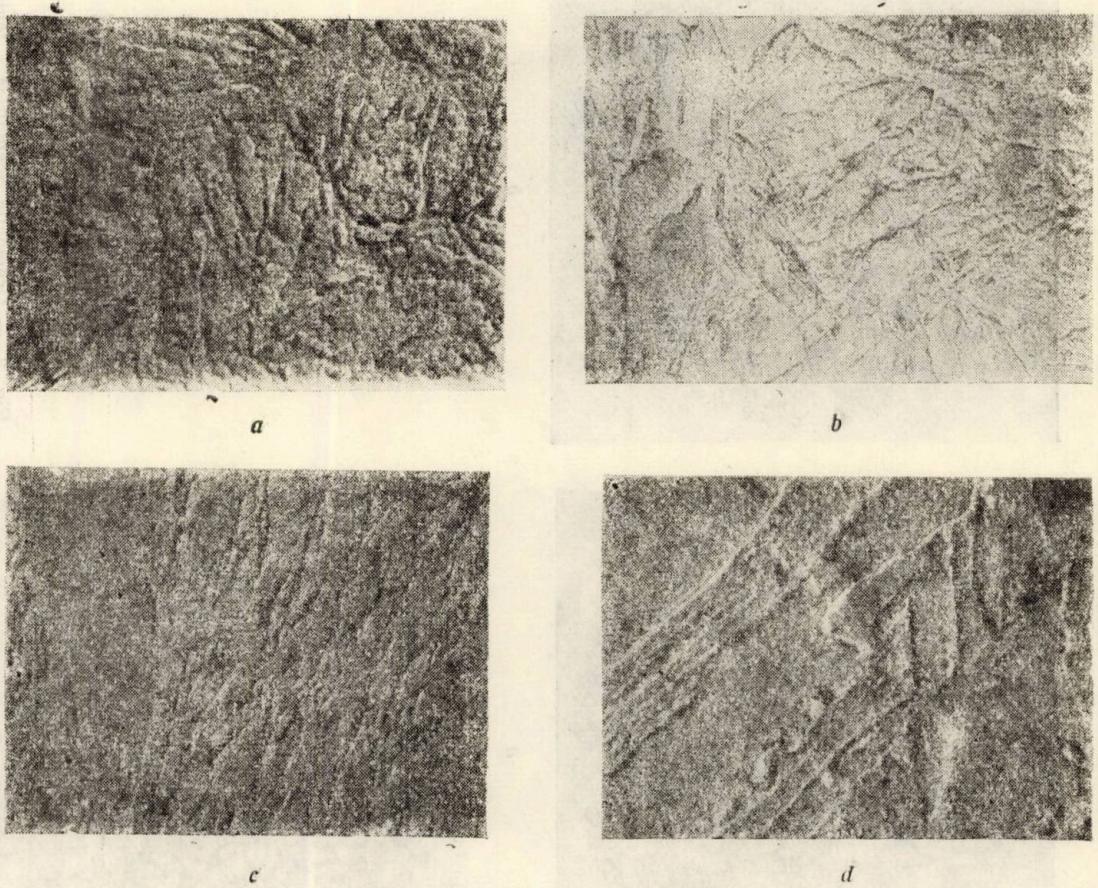
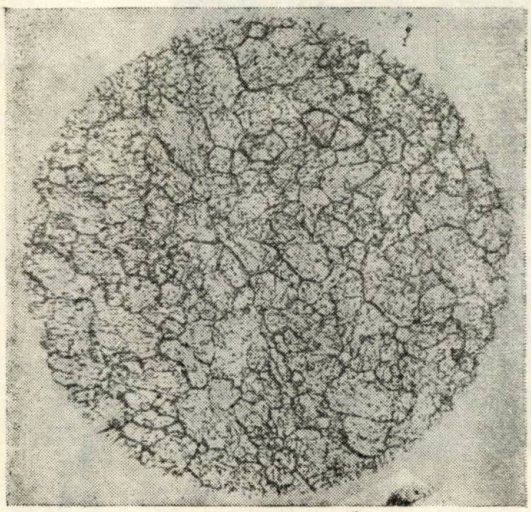
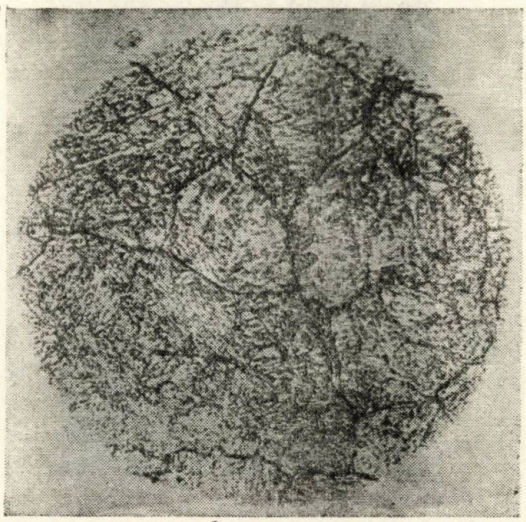


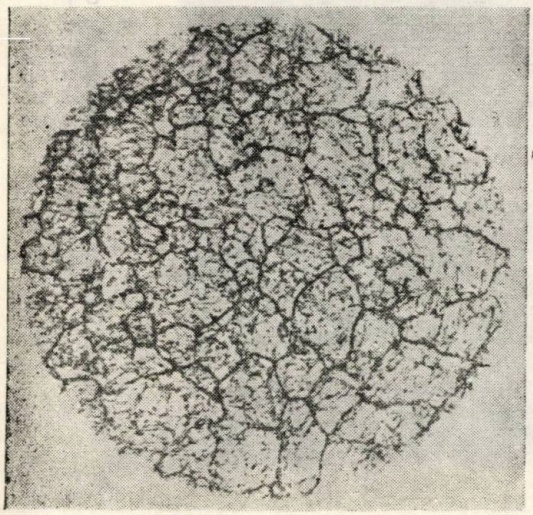
Fig. 1. — Microstructura țevilor din oțelul DB după: a — TTM; b — TT1; c — TT2; d — TT4. — a, b, c și d — revenire 1 h la 373 °K (100 °C); ×8 500



*a*



*b*



*c*

Fig. 2. — Granulația austenitică a țevilor din oțelul DB după : a — TTM ; b — TT1 ; c — TT3. Atac în soluție saturată de acid picric în apă ; ×500

Pentru fiecare variantă de tratament au fost studiate cîte două probe, iar pe fiecare probă au fost făcute patru înregistrări, astfel că fiecare valoare a lățirii fizice a liniilor $\beta_{110}$ și $\beta_{211}$ reprezintă mărimea medie a opt măsurători.

## REZULTATELE OBȚINUTE ȘI ANALIZA LOR

Analiza microstructurală efectuată la microscopul electronic a permis să se facă unele constatări cu privire la particularitățile structurii martensitice obținute după diverse variante de tratament. Structura martensitică rezultată în urma aplicării TTM are un aspect lamelar, cu lamele relativ scurte și groase (*fig. 1 a*).

Acest aspect lamelor este caracteristic, după cum a fost arătat de către Kelly și Nutting [11], [12], structurilor martensitice obținute după TTM. Aspectul lamelar al martensitei se păstrează într-o măsură mare și după aplicarea variantei de tratament termic TT1 (*fig. 1 b*), însă dispersia structurii nu mai este așa de ridicată ca în cazul TTM. Structura martensitică rezultată în urma aplicării variantelor de tratament termic 3—5, deși are un grad de dispersie aproximativ egal cu al structurii obținute după varianta TT1, se deosebește evident de aceasta, și îndeosebi de structura obținută în urma TTM, prin faptul că aspectul ei devine treptat tot mai acicular (*fig. 1 c* și *1 d*).

A doua caracteristică a martensitei rezultate în urma aplicării TTM este fragmentarea pronunțată a structurii. Această fragmentare a structurii foștilor grăunți de austenită, transmisă prin procesul transformării $\gamma \rightarrow \alpha$ structurii martensitice, se păstrează într-un anumit grad și după varianta de tratament TT1, ceea ce arată posibilitatea menținerii imperfecțiunilor microstructurale, create în urma deformării plastice la temperaturi înalte și în condițiile decurgerii proceselor de recristalizare. După varianta de tratament cu normalizare intermediară TT2, fragmentarea structurii aproape că dispare (*fig. 1 c*), iar în urma variantei de tratament TT4, în structura martensitică fragmentarea nu se mai observă de loc (*fig. 1 d*).

Din compararea acestor microstructuri se poate vedea că există o variație în trepte a structurii pornind de la varianta TTM către varianta TT4 și că structura rezultată după aplicarea tratamentului termic conform variantei TT1 prezintă unele particularități ale structurii rezultate în urma TTM. Probabil că prin aceasta, și în primul rînd prin păstrarea fragmentației structurii, se explică stabilitatea stării de „rezistență înaltă" chiar în condițiile decurgerii într-un anumit grad al recristalizării de coalescență. Legat de aceasta este interesant de remarcat și faptul că în cazul de față nu se mai respectă corelația dintre mărimea grăuntelui austenitic real și nivelul proprietăților mecanice. Proprietățile mecanice obținute în urma aplicării variantei de tratament TT1 sînt superioare celor obținute în urma aplicării

variantelor de tratament TT2, TT3 și TT4, deși grăuntele austenitic a fost în primul caz de 3—3,8 ori mai mare decît grăuntele rezultat după variantele de tratament termic cu încălzire intermediară (*fig. 2*). Încălcarea corelației dintre proprietățile de rezistență și mărimea grăuntelui austenitic, în cazul aplicării tratamentului termomecanic, a fost constatată și în lucrările [13]—[15]. Explicația constă probabil în aceea că asupra proprietăților de rezistență a metalelor în stare de „rezistență înaltă" o influență mai mare manifestă crearea unor subgranițe în interiorul grăuntelui, decît însăși rosturile grăuntelui austenitic [16], [17]. La aceasta mai concurează probabil, efectul menținerii unei densități ridicate a dislocațiilor în locurile foștilor rosturi ai grăunților de austenită, precum și apariția după recristalizare a unei rețele duble de rosturi : rosturile grăunților existenți pînă la recristalizare și rosturile grăunților noi formați la recristalizare [18].

Rezultate analoge, referitoare la gradul de menținere a imperfecțiunilor substructurii în funcție de regimurile de tratament termomecanic și termic au fost găsite și în urma analizei röntgenostructurale (tabela 2). S-a stabilit [19] că, în afara imperfecțiunilor submicrostructurale, o influență considerabilă asupra mărimii lățirii fizice a liniilor de interferență manifestă neomogenitatea soluției solide și tetragonalitatea martensitei. În literatură sînt numeroase încercări de a separa influența diferiților factori și de a calcula fracțiunea din valoarea lățirii fizice a liniilor de interferență determinată de către fiecare din acești factori. Întrucît însă un asemenea calcul este extrem de aproximativ, iar rezultatele obținute pot conduce la concluzii eronate, în lucrarea de față nu a fost efectuat un asemenea calcul, aprecierea cantității de imperfecțiuni submicrostructurale efectuîndu-se în baza mărimii lățirii fizice a liniilor de interferență. Aceasta cu atît mai mult, cu cît în cazul revenirilor efectuate la temperaturi mai mari de 573 °K (300 °C) descompunerea soluției solide practic s-a terminat și fracțiunea introdusă de către tensiunile elastice datorită carbonului interstițial poate fi neglijată iar diferența în valorile lățirii liniilor urmează a fi considerată ca rezultînd numai din diferența de densitate a imperfecțiunilor submicrostructurale.

Din analiza datelor prezentate în tabela 2 se vede că, în comparație cu varianta de tratament TT1, după aplicarea tratamentului termomecanic valorile lățirii fizice a liniei de interferență (110) se obțin cu 12—16% mai mari, iar valorile pentru linia de interferență (211) cu 10—16% mai mari. Diferența dintre valorile lățirii fizice a liniilor de interferență, exprimată în procente, variază în general foarte puțin în raport cu temperatura de revenire. Judecînd după acest criteriu se poate considera că imperfecțiunile submicrostructurale, care determină diferența dintre valorile lățirii fizice ale liniilor de interferență, sînt puțin sensibile față de temperatura de revenire și că se mențin și în urma revenirilor la temperaturi ridicate. Această constatare se află în concordanță cu rezultatele încercărilor mecanice, obținute atît de

*Tabela 2*

Valorile lățirii fizice a liniilor de interferență (110) și (211) și ale erorii pătratice medii în determinarea acesteia după diferite variante de tratament termic

| Temperatura de revenire °K (°C) | $\beta_{(110)}$, rad $\times 10^{-3}$ | | | | | $\beta_{(211)}$, rad $\times 10^{-3}$ | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | TTM | | TT1 | TT2 | TT4 | TTM | TT1 | TT2 | TT4 |
| | Suprafața A | Suprafața B | | | | | | | |
| 373 (100) | 19,31± 0,43 | 15,42± 0,66 | 14,54± 0,87 | 14,28± 0,29 | 14,15± 0,45 | 35,13± 0,85 | 32,80± 0,66 | 30,76± 0,83 | 28,77± 0,73 |
| 473 (200) | 16,33± 0,64 | 13,58± 0,50 | 13,55± 0,40 | 13,19± 0,51 | 13,44± 0,61 | 32,56± 0,89 | 29,19± 0,91 | 27,76± 0,95 | 26,86± 0,62 |
| 573 (300) | 12,11± 0,94 | 9,23± 0,70 | 10,37± 0,56 | 10,24± 0,34 | 9,84± 0,58 | 22,07± 0,31 | 20,58± 0,76 | 18,75± 0.28 | 18,37± 0,56 |
| 673 (400) | 9,56± 0,94 | 7,65± 0,81 | 7,24± 0,34 | 6,88± 0,49 | 6,13± 0,47 | 15,40± 0,30 | 13,35± 0,77 | 12,36± 0,72 | 11,93± 0,81 |
| 773 (500) | 7,19± 0,51 | 5,84± 0,41 | 4,56± 0,70 | 4,38± 0,48 | 4,21± 0,31 | 9,85± 0,64 | 7,25± 0,33 | 7,01± 0,46 | 6,46± 0,54 |
| 873 (600) | 3,25± 0,56 | 2,79± 0,52 | 2,45± 0,44 | 2,17± 0,49 | 1,62± 0,55 | 5,71± 0,51 | 3,59± 0,71 | 3,18± 0,53 | 2,55± 0,54 |

autori cît și de alți cercetători, rezultate care au arătat că valorile ridicate ale proprietăților de rezistență obținute în rezultatul aplicării TTM se păstrează pînă la cele mai ridicate temperaturi de revenire uzual aplicate în producție.

Determinarea lățirii fizice a liniei de interferență (110) pe suprafețele reciproc perpendiculare A și B ale probelor supuse tratamentului termomecanic a condus la obținerea unor valori diferite, în funcție de poziția suprafeței în raport cu direcția de laminare. Valorile lățirii fizice a liniei (110) determinate pe suprafața de laminare A, sînt sensibil mai mari îndeosebi în cazul revenirii la temperaturi mai mici de 673 °K (400 °C) decît valorile omonime determinate pe suprafața perpendiculară pe direcția de laminare B. Aceste rezultate confirmă concluzia exprimată în lucrarea [20], în legătură cu anizotropia elementelor substructurii (domeniilor de difuzie coerentă) în cazul aplicării tratamentului termomecanic.

In ceea ce privește valorile lățirii liniilor de interferență (110) și (211), rezultate în urma aplicării variantelor de tratament TT2 și TT4, acestea se obțin încă și mai mici decît după aplicarea variantei TT1. Totuși, diferența dintre valorile obținute după aplicarea variantelor de tratament TT1 și, respectiv, TT2 sau TT3 și, respectiv, TT4 este foarte mică și se află în limitele erorilor de determinare, iar pentru linia de interferență (110) chiar diferența dintre valorile obținute după variantele de tratament TT1 și, respectiv TT4 este mai mică decît eroarea patratică medie de determinare a valorilor respective. Avînd în vedere și constatarea că diferențele dintre valorile lățirii fizice după TTM și după TT1 nu au fost mai mari de 16%, se poate conchide că densitatea de dislocații a structurii rezultate în urma aplicării tratamentului termomecanic la temperautri superioare, deși este mai ridicată decît după călirea obișnuită, totuși, în comparație cu varianta de tratament termomecanic la care deformarea plastică se efectuează la temperaturile din domeniul stabilității mărite a austenitei subrăcite, este relativ mică. Acest fapt este confirmat și de rezultatele analizei pe folii la microscopul electronic a structurii dislocațiilor obținute după TTM [10].

Din compararea rezultatelor obținute cu ajutorul analizelor röntgenostructurală și electronomicroscopică rezultă concluzia că obținerea în urma aplicării tratamentului termomecanic la temperaturi superioare a unor proprietăți mecanice ridicate este determinată nu atît de creșterea densității de dislocații, cît de către distribuția lor favorabilă, și în primul rînd de fragmentarea substructurii în procesul deformației plastice la temperaturi ridicate. O asemenea structură determină o plasticitate ridicată, care la rîndul său permite a se realiza proprietăți înalte de rezistență. Fiind rezultatul redistribuirii dislocațiilor în timpul procesului deformației plastice la temperaturi ridicate, structura fragmentată a foștilor grăunți de austenită posedă o stabilitate termică mare. Astfel se explică de ce structura ecruisată,

obținută după tratament termomecanic la temperaturi superioare, este mai stabilă termic decît structura ecruisată în urma tratamentului termomecanic la temperaturi joase sau decît ecruisajul la rece.

## CONCLUZII

1. Analiza electronomicroscopică a arătat că obținerea unor proprietăți mecanice ridicate în rezultatul aplicării tratamentului termomecanic la temperaturi superioare este determinată în principal de fragmentarea structurii foștilor grăunți de austenită în timpul deformării plastice la cald.

2. În cazul menținerii efectului ecruisării la cald, între nivelul proprietăților mecanice obținute și mărimea grăuntelui austenitic real nu se constată o corelație univocă.

3. Analiza röntgenostructurală a arătat că densitatea imperfecțiunilor submicrostructurale, care se formează în rezultatul tratamentului termomecanic la temperaturi superioare, deși mai ridicată decît în cazul tratamentului termic obișnuit, este totuși relativ mică.

## BIBLIOGRAFIE

1. M. L. Bernștein, N. Drăgan (1965): *Metalurgia, 5.*
2. M. L. Bernștein, N. Drăgan (1965) *Metallovedenie i termiceskaia obrabotka metallov i splavov, 6.*
3. V. D. Sadovski, K. A. Malîșev, B. G. Sozonow (1954): *Pevrașcenie pri nagreve stali.* Metallurghizdat.
4. W. E. Duckworth, D. A. Leack, R. Phillips (1962): *Spec. Rept. Iron and Steel Inst.*, v. **76.**
5. S. I. Sahin, E. G. Sokolov (1962): *Metallovedenie i termiceskaia obrabotka metallov i splavov, 1.*
6. B. P. Kolesnic (1964): *Metallovedenie i termiceskaia obrabotka metallov i splavov, 2.*
7. V. A. Iacovlev și colab. (1964): Procinosti metallov i splavov. (*Referatele conferinței din Leningrad*). *10—22.*
8. S. S. Gorelic, I. M. Rastorgnev, I. A. Skakov (1963): *Röntgenograficeskii i electronnograficeskii analiz metallov,* Metalurghizdat.
9. N. N. Kacianov, I. I. Mirkin (1960): *Röntgenostructurnîi analiz,* Mașghiz.
10. L. M. Utevski, F. R. Haşimov (1966): *Metallovedenie i termiceskaia obrabotka metallov i splavov, 4.*
11. P. M. Kelly, J. Nutting (1960): *Proc. Roy. Soc.*, v. **259,** *1296.*
12. P. M. Kelly, J. Nutting (1961): *Journal Iron and Steel* Inst., **197.**
13. L. I. Kogan, R. I. Entin (1962): *Metallovedenie i termiceskaia obrabotka metallov i splavov, 1.*
14. V. F. Zackay, W. M. Justusson (1962): *Spec. Rept. Iron and Steel Inst.*, v. 76.

15. M. E Blanter şi colab. (1964): *Metallovedenie i termiceskaia obrabotka metallov i splavov, 8.*
16. G. V. Kurdiumov, M. D. Perkaş (1961): *Metallovedenie i termiceskaia obrabotka metallov i splavov, 9.*
17. D. H. Warrington (1961): *Electron Microscope Conference,* Delft.
18. S. Z. Bokştein, S. T. Kişkin şi colab. (1964): *Protessî diffuzii, structura i svoistva metallov,* Maşinostroienie, 99.
19. G. V. Kurdiumov (1950): *Voprosî fizichi metallov i metallovedenie,* Izd. AN USSR.
20. L. M. Pevzner şi colab. (1963): *Metallovedenie i termiceskaia obrabotka metallov i splavov, 4.*

# POSIBILITĂȚILE DE UTILIZARE A MICROSCOPIEI INTERFERENȚIALE ÎN STUDII DE STRUCTURI

IRINA ZBEREA

*Institutul de fizică atomică. Lab. materiale pentru tehnica nucleară*

În această lucrare se prezintă rezultatele obținute în urma studiilor structurii suprafețelor metalice, efectuate prin folosirea microscopiei interferențiale la un microscop metalografic Zeiss-Neophot, adaptat în acest scop.

Sînt expuse interpretările interferogramelor. Sînt discutate posibilitățile de aplicare ale metodei în scopul completării datelor obținute prin metalografie și microscopie electronică.

## INTRODUCERE

Utilizarea metodei interferenței de fascicule multiple, și anume a metodei franjelor de interferență de egală grosime, a franjelor încrucișate și a franjelor de ordin cromatic egal [1], [2], a fost pusă la punct de S. Tolansky pentru studiul microtopografiei suprafețelor.

Rezultatele pot constitui o completare a studiilor de microscopie optică și electronică și o posibilitate de a obține informații și de a efectua măsurători pe direcție perpendiculară pe suprafața probei.

Pentru astfel de determinări utilizarea acestor tehnici este avantajoasă pentru simplitatea și exactitatea măsurătorilor.

Dintre metodele interferențiale, metoda franjelor de ordin cromatic egal permite determinări de înălțime sau adîncime pînă la 10 Å, ceea ce reprezintă mărimi de ordinul distanțelor intermoleculare.

Metoda steroscopică folosită în microscopia electronică poate determina înălțimi pînă la 100 Å, dar este complicată și dificilă.

Metoda franjelor de egală grosime, care realizează imaginea microtopografică a suprafeței probei, franjele de interferență unind punctele de egală grosime de pe probă atinge rezoluții de ordinul a 100 Å. În același timp se obține și o imagine de ansamblu a unei suprafețe mai întinse, mărirea în extensie fiind doar aceea realizată de microscopul optic la care s-a adaptat dispozitivul de interferență.

Precizia măsurătorilor este foarte mare şi anume de ordinul angstromilor, atunci cînd relieful suprafeţei nu este foarte accidentat şi deci cînd dispersia franjelor este constantă.

Astfel, tehnica interferenţială poate efectua un studiu complementar (pe direcţie paralelă direcţiei privirii) celui obţinut prin microscopia electronică sau optică, care realizează măriri mari ale suprafeţei (mărirea se face pe direcţia perpendiculară direcţiei privirii).

Interferenţa se mai poate folosi pentru completarea informaţiilor obţinute la microscopul electronic, cînd posibilitatea obţinerii repetate a unei replici pe o regiune dată, foarte restrînsă ca întindere, este dificilă.

Metoda interferenţială prezintă avantajul rezoluţiei mari în adîncime, pentru o mărire relativ mică în extensie, adică pentru o imagine întinsă în suprafaţă, ceea ce oferă posibilitatea marcării unei regiuni pe probă şi cercetarea ei înainte şi după un tratament, care are drept rezultat modificări mici ale reliefului, detectabile interferenţial.

Imaginile fotografice ce se obţin prin aceste tehnici au fost numite interferograme.

Echipamentul necesar este relativ simplu.

## TEHNICA EXPERIMENTALĂ

Interferogramele care vor fi prezentate în cele ce urmează, au fost obţinute cu metoda franjelor de egală grosime.

S-a lucrat prin reflexie, cu un dispozitiv interferenţial (*fig. 1, a*), pe care l-am adaptat la un microscop metalografic Zeiss-Neophot.

Ca sursă de lumină s-a utilizat o lampă spectrală cu vapori de mercur şi s-a folosit un filtru Zeiss B care asigură monocromatizarea satisfăcătoare pentru $\lambda = 5\,461$ Å.

Dacă suprafaţa probei de studiat este suficient reflectantă, cum se întîmplă în cazul monocristalelor metalice sau al suprafeţelor metalice şlefuite, argintarea probei nu este necesară. În condiţiile în care argintarea suprafeţei este necesară, se depune un strat de argint de grosime pînă la 1 000 Å, o astfel de grosime permiţînd o reproducere fidelă a reliefului probei dacă depunerea se face în vid de $p = 10^{-5}$ mm Hg.

În afară de tehnica argintării directe se mai poate folosi cea a replicilor plastice [4]. Avantajul acestora constă în primul rînd în înlăturarea necesităţii argintării directe a suprafeţei probei, care poate fi utilizată ulterior în cursul experienţelor.

## INTERPRETAREA INTERFEROGRAMELOR

Dacă se utilizează lumină monocromatică la un unghi constant (*fig. 1 b*) franjele obţinute prin interferenţa fasciculelor formate prin reflexii multiple între suprafaţa reflectantă a probei şi cea optic plană-etalon, aşa cum se

vede din formula Airy *), vor uni punctele de egală grosime de pe probă, realizînd topografia reliefului suprafeței de studiat.

Știind că între două astfel de franje, la incidență normală, există o distanță egală cu $\frac{1}{2}\lambda$, se pot face calcule în legătură cu adîncimea sau înălțimea reliefului conturat de acestea.

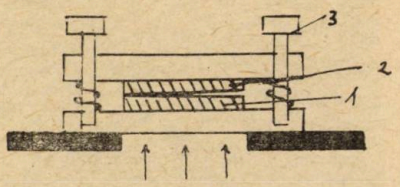



Fig. 1 a. — Dispozitiv interferențial: 1 — etalonul de suprafață optic plană, argintată pentru coeficientul de reflexie R ≈ 95%; 2 — proba de studiat; 3 — Șurub pentru reglarea grosimii penei optice.

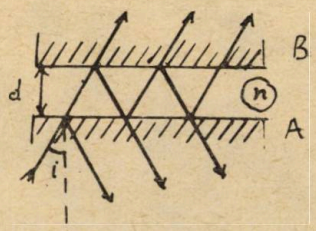



Fig. 1 b. — A — etalonul; B — proba: i — unghiul de incidență al razei; d — grosmiea stratului de aer dintre suprafețele de interferență; n — indicele de refracție al aerului.

Cînd pe o zonă dispersia este constantă, fracțiunea din interfranjă care corespunde defectului se poate evalua cu exactitate și atunci măsurătorile sînt foarte precise.

Pe interferograma din *fig. 2 a* defectele conturate de franje sînt situate între 200 și 1 300 Å.

Pe fotografie mărirea în extensie este doar de 133 x, rezoluția în adîncime, după cum se vede este mare, iar mărirea în adîncime este de 60 000 x.

Pe regiuni cu aspectul celei din *figura 2 b* nu se pot face evaluări cantitative exacte, dar se vede că relieful este mai accidentat decît pe *figura 2 a*, adîncimea defectelor depășind o interfranjă.

In cazul în care relieful prezintă ridicături sau adîncituri conturate de franje închise, numărul franjelor înmulțit cu valoarea jumătății lungimii de undă utilizate dă înălțimea sau adîncimea reliefului conturat.

---

*) *Formula dă intensitatea luminoasă J în fiecare punct al cîmpului de observație:*

$$J = \frac{J_{max}}{1 + F \sin^2 \pi \frac{2nd \cos i}{\lambda}}$$

*unde*

$J_{max}$ *este intensitatea maximă, observabilă în cîmp;*

$F = \frac{4R}{(1-R)^2}$ — *coeficientul de finețe al franjei care depinde de indicele de reflexie al stratului de argint depus pe fețe;*

n — *indicele de refracție al aerului între fețe.*

Astfel, pe *figura 3* se văd conturări de defecte de 2 730 Å și 35 000 Å.

Atunci cînd ne interesează ce fel de structură s-a obținut pe suprafața unei probe în urma unui tratament oarecare și, mai exact, dacă avem de-a face în mod sigur cu ridicături sau adînciturі pentru obținerea interferogramei se utilizează o sursă cu deschidere unghiulară mai mare.

Fig. 2 a. — Oțel AK 35. Mărirea=133×

Fig. 2 b. — Oțel AK. Mărirea=86×

In acest caz, franjele vor apărea lărgite, dar într-o singură direcție, anume în sensul creșterii lui d. Aceasta deoarece interferența în interiorul penei de aer se face după legea $n\lambda = 2d \cdot \cos i$, unde n este ordinul de interferență.

Lărgirea are loc deoarece $\cos i < 1$ pentru toate razele diferite de cele normale și de aceea pentru un n dat se cere o valoare mai mare a lui d.

In cazul unui salt în înălțime, care întrerupe mersul continuu al franjei, cum ar fi cazul a două depuneri de strat subțire de grosime diferită (*fig. 4*), înălțimea pasului va fi $\left(dn \frac{\lambda}{2}\right)$. Calculul fracțiunii dn dintr-un ordin de interferență se va face după formula

$$dn = \frac{2BB'}{A'B' + BC}$$

dacă există o modificare regulată a dispersiei (*fig. 5*), formula făcînd o mediere a măsurătorii cu rezultate de mare exactitate (erori în jur de 10 Å).

In cazul cînd suprafața de cercetat prezintă o structură cristalină, se poate stabili forma cristalitelor din felul în care franjele conturează relieful acestora.

Astfel, aceeași formă geometrică poate fi conturată ca în *figurile 6 a* sau *6 b*, figura de interferență depinzînd de direcția pe care se formează ele.

De asemenea se mai poate determina unghiul dintre diferite fețe care se intersectează pe suprafața probei, ca în *figura 7 b*. O metodă generală de calcul se datorează lui W. L. Wilcock [3].

*Figura 7 b* reprezintă imaginea obținută prin interferență a structurii din *figura 7 a*, pe un clivaj de monocristal de zinc.

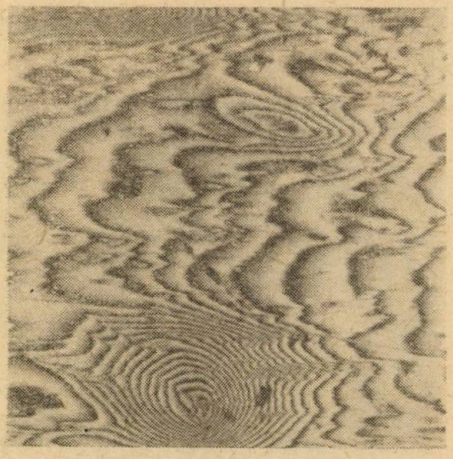


Fig. 3. – Oțel 1×18H9T. Mărirea : 115×

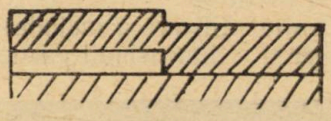


Fig. 4.

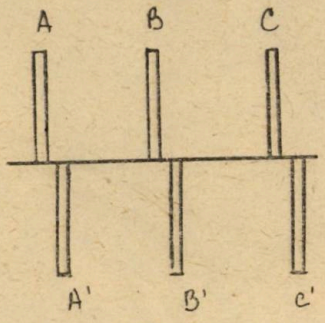



Fig. 5.

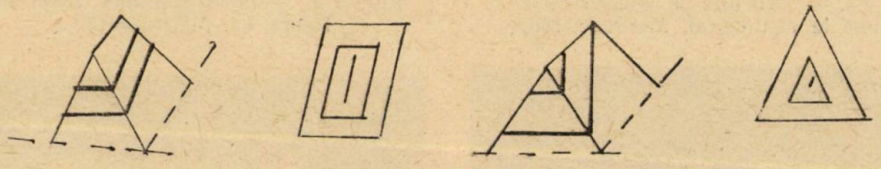


Fig. 6 a. — Fig. 6. b

Franjele de interferență conturează unghiuri calculabile, pe care le fac diferite fațete ale microreliefului între ele, dispersia diferită a franjelor fiind cauzată de înclinarea diferită a planelor suprafețelor unul față de altul.

— In laboratorul nostru metoda a fost utilizată în scopul completării datelor cu privire la structuri obținute prin microscopie electronică și metalografie.

Pentru ilustrare vom comenta structlrile din *figurile 8 a* și *8 b*. Interferogramele au fost obținute pe oțeluri inoxidabile (1x18H10T), pe care s-a urmărit efectul iradierii în reactor asupra procesului de reacție a oxigenului cu atomii suprafeței metalice la tratament termic ulterior, în atmosferă de oxigen.

Iradierea a influențat formarea unor cristaline mai întinse în suprafață, dar mai puțin net conturate ca pe proba neiradiată. Frecvența denivelărilor pe proba iradiată este cu mult mai mare decît pe proba neiradiată pe același cristalit.

De asemenea se disting creșteri globulare de 5—15 μ și de aproximativ 3 000 Å înălțime.

O altă utilizare a metodei o poate constitui determinarea cu exactitate a formei și a dimensiunii particulelor de pulberi metalice.

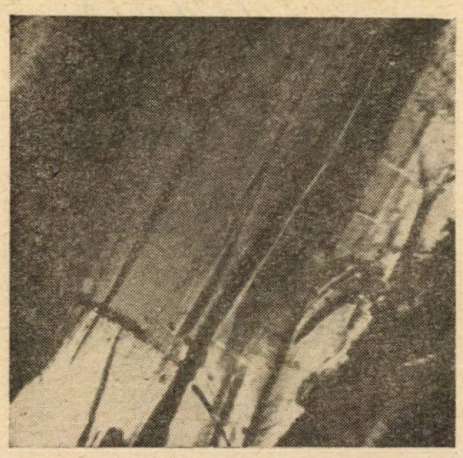


Fig. 7 a. — Structură pe monocristal Zn obținută la metalograf. Mărirea : 133×

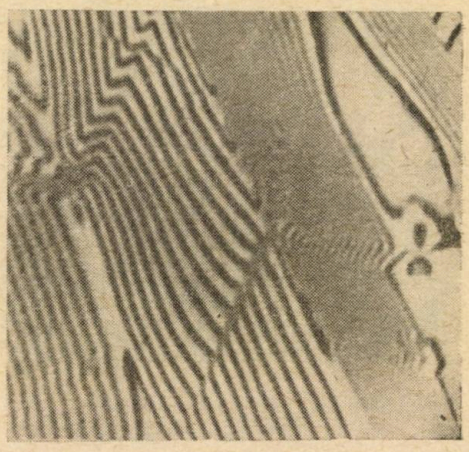


Fig. 7 b. — Interferograma zonei din figura 7 a. Mărirea=133×

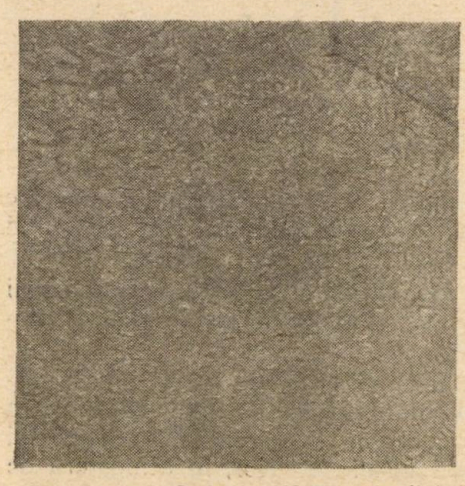


Fig. 8 a. — Oțel 1×18H10T neiradiat. Mărirea=114×

Fig. 8 b. — Oțel 1×18H10T iradiat. Mărirea=190×

Dimensiunea liniară a particulei se determină prin citire directă la scala micrometrică a ocularului microscopului, iar grosimea particulei se determină prin citirea numărului de franje închise care o conturează (cînd este cazul, se adaugă și fracțiunea conturată de deformația franjei principale). Determinarea grosimii se face astfel cu foarte mare exactitate, iar citirea este rapidă.

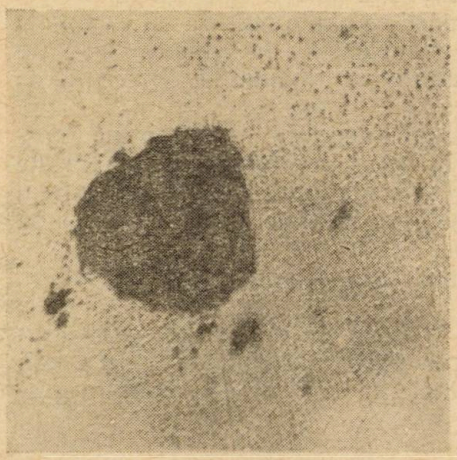


Fig. 9 a. — Particulă de pulbere de oxid de aluminiu. Mărirea=114×

Fig. 9 b. — Interferograma aceleeași particule. Mărirea=114×

Raportul diametrului mediu al suprafeței particulei la grosimea acesteia indică forma particulei. Informații cu privire la formă se pot lua și din felul în care franjele conturează particula.

*Figurile 9 a* și *9 b* reprezintă o particulă de pulbere de oxid de aluminiu, cu diametrul mediu de aproximativ 265 μ și grosimea maximă de 1,6 μ, determinată cu exactitate. Deci este vorba de o lamelă foarte subțire. Structura fină a franjelor indică un microrelief cu variații în cadrul a 1 000 Å.

## DISCUȚII IN LEGATURĂ CU POSIBILITĂȚILE DE APLICARE ALE METODEI

Interferența se poate folosi pentru obținerea de informații în legătură cu transformarea aspectului microtopografiei solidului în urma diferitelor procese, ca corodări, oxidări [11], iradieri, creșteri cristaline [14] etc.

Dintre utilizările recente cu rezultate greu de obținut pe altă cale, trebuie menționate:

*a*) *studiul autodifuziei pe suprafața metalelor*. Cind transformările de relief în urma tratamentului termic sînt de scară mică, acestea, puse în evi-

dență prin tehnica interferențială, pot fi folosite pentru studiul cantitativ al autodifuziei pe suprafețe. Detalii de procedură se dau de către J. M. Blakely [7]. Rezultate au fost anunțate pentru Cu [8], Ni [9] și Pt [10].

*b) punerea în evidență a modificărilor mici de microrelief, survenite în urma iradierii solidelor.*

Determinări cantitative de exactitate mare se pot face comod pe materiale și la iradieri (de ex. fascicule de ioni) care permit apariția unui efect de eroziune a materialului. Adîncimea erodării se poate măsura cu exactitate prin deplasarea franjelor la joncțiunea regiunii expuse la iradiere cu regiunea ecranată [12] și se pot face studii cantitative amănunțite în funcție de diferiți parametri.

Pe materiale unde efectul iradierii este greu decelabil se pot obține informații din însăși structura franjei, dar obținerea interferogramelor trebuie făcută cu mare atenție, pentru ca o franje să contureze cu exactitate extrem de mare același loc de pe probă înainte și după iradiere și pentru ca ea să se formeze cu exactitate pe aceeași direcție.

Studiile pe monocristale și cele pe strate subțiri sînt cele mai comode, datorită planității suprafețelor.

Metoda se poate folosi de asemenea în studii de metalurgie pentru un control de mare exactitate al finisării prelucrării materialelor și în studii de laborator pentru măsurători de mare finețe în legătură cu structura granulației [13].

## BIBLIOGRAFIE

1. S. Tolansky (1960): *Surface microtopography.* London.
2. G. Brătescu (1963): *Interferometria aplicată.* București.
3. S. Tolansky, W. L. Wilcock (1946): *Nature,* **157,** 583.
4. S. Tolansky (1948): *Multiple-beam interferometry of surfaces and films.* London.
5. W. W. Mullins (1957): *J. Appl. Phys.,* **28,** 333.
6. W. W. Mullins (1959): *J. Appl. Phys.,* **30,** 77.
7. J. M. Blakely (1961): *Thesis, Glasgow University* (după [9]).
8. W. W. Mullins, P. S. Shewmon (1959): *Acta Met.,* **7,** 163.
9. J. M. Blakely, H. Mykura (1961): *Acta Met.,* **9,** 23.
10. J. M. Blakely, H. Mykura (1962): *Acta Met.,* **10,** 565.
11. H. C. Gatos (1964): *Solid Surfaces,* pag. 376, New-York.
12. * * * (1964): AERE — R 4699 — Harwell.
13. A. Moore (1959): *Acta Met.,* **7,** 521.
14. R. L. Patterson, C. M. Wayman (1966): *Acta Met.,* **14,** 347.

# COMPARAȚIE ÎNTRE PROPRIETĂȚILE DE REZISTENȚĂ ALE OȚELURILOR DE ÎMBUNĂTĂȚIRE DUPĂ UN TRATAMENT NORMAL ȘI ÎN TREPTE

FR. EISENKOLB, M. RIEHLE

*Institutul pentru tehnologia materialelor a Universității tehnice din Dresda, Republica Democrată Germană*

S-au studiat două oțeluri (24 CrMo 4 și 42 Mn V 7) de îmbunătățire standardizate în Republica Populară Germană, în scopul ameliorării caracteristicilor mecanice, în special a tenacității în domeniul de rezistență la întindere uzual, prin călire în trepte, în comparație cu procedeul de îmbunătățire obișnuit prin călire și revenire. Rezultatele obținute au dovedit că îmbunătățirea în trepte a ambelor oțeluri nu este recomandabilă în domeniul de rezistență la întindere studiat.

## INTRODUCERE

Literatura de specialitate tratînd transformarea izotermică a austenitei subrăcite în structură intermediară sau bainitică este destul de vastă (de ex. [1]—[5]), însă concepțiile privitoare la aplicarea practică a acestui procedeu la călirea în trepte nu sînt unitare. Prin cercetările descrise în cele ce urmează s-a urmărit compararea caracteristicilor mecanice a două oțeluri de construcție obișnuite, slab aliate, caracteristici obținute după procedeul obișnuit de îmbunătățire prin călire și revenire respectiv prin călirea în trepte, rezistența la tracțiune urmînd să fie cuprinsă în domeniul cerut de constructor și recomandat de producătorul oțelului.

În *figura 1* s-a trasat curba temperatură-timp pentru călirea normală și pentru călirea în trepte. Aceasta din urmă prezintă următoarele avantaje: eliminarea tratamentului de revenire și a curățirii pieselor după călirea în ulei, evitarea fragilității de revenire și reducerea pericolului de fisurare și de distorsiune.

Domeniul de temperatură în care nu se formează decît structură intermediară la menținerea izotermică a austenitei subrăcite este în funcție de

compoziția oțelului. El este cuprins între temperatura începutului formării martensitei și domeniul transformării perlitice. În domeniile de temperatură învecinate, se poate forma o structură mixtă perlitică sau martensitică cu caracteristici mecanice nefavorabile, care, prin urmare, trebuie evitată.

Domeniul transformării intermediare se subîmparte într-o treaptă intermediară inferioară și una superioară. Limita dintre cele două domenii se află în jur de 350 °C și este probabil independentă de compoziția oțelului.

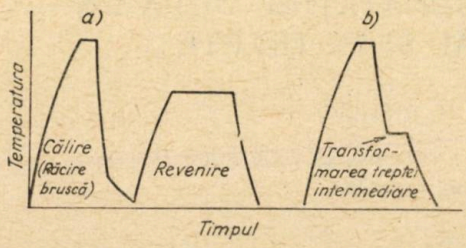



Fig. 1. — Curbe temperatură-timp (schematic):
a — îmbunătățire prin călire și revenire; b — îmbunătățire în trepte.

Influența procedeului de îmbunătățire asupra caracteristicilor mecanice ale oțelurilor a fost discutată în repetate rînduri (de ex. [2], [6]—[9]). Rezultă că tenacitatea oțelurilor călite în treapta inferioară este mai bună decît cea a oțelurilor de aceeași rezistență îmbunătățite prin procedeul uzual. Această afirmație este valabilă în special pentru domeniul de rezistență cuprins între 120 și 185 kgf/mm² cu valori corespunzătoare ale durității de 35 pînă la 55 HRC. După anumite date însă, tenacitatea mai mare poate fi atinsă și sub 45 HRC după îmbunătățire normală.

Dintre dezavantajele călirii în trepte amintim următoarele: comportarea oțelurilor la transformarea în domeniul treptei depinde în mare măsură de compoziția chimică. Pentru stabilirea temperaturii de transformare și a duratei de menținere se necesită, prin urmare, cunoașterea diagramei timp-temperatură-transformare, denumită în cele ce urmează diagramă TTT. Întrucît diferențe pot apărea chiar și între diferitele șarje din același sortiment de oțel, procesul de transformare trebuie controlat. Călirea în trepte intermediare impune realizarea unei instalații de baie de sare. Cum efectul de călire este aici mai redus decît în apă sau ulei, nu pot fi îmbunătățite decît piese de dimensiuni mici.

Piesele de dimensiuni mai mari trebuie confecționate din oțeluri mai bogat aliate, la care formarea feritei este mai dificilă. Apariția feritei înaintea atingerii temperaturii treptei intermediare trebuie evitată cu orice preț.

Superioritatea tenacității oțelurilor călite prin procedeul treptelor față de tenacitatea materialelor îmbunătățite prin procedeul uzual — superioritate des amintită în literatura de specialitate, dar neconfirmată — se evidențiază numai dincolo de domeniul obișnuit de folosire a oțelurilor de îmbunătățire slab aliate. Lucrarea de față își propune să lămurească aceste condiții.

## MATERIALE STUDIATE

Pentru încercări s-au ales oțelurile 42 CrMo 4 (oțelul 1) și 42 Mn V 7 (oțelul 2), conform standardului RDG TGL 6547. Compoziția lor este redată în tabela 1. Pentru diametre pînă la 16 mm, ambele oțeluri se folosesc de obicei în următoarele domenii de rezistență :

| | |
|---|---|
| — rezistența la tracțiune | între 110 și 130 kgf/mm² |
| — limita de curgere | 90 kgf/mm² |
| — alungirea la rupere | 10% (corespunde la aprox.) |
| — contracția la rupere | 40% pentru oțelul 1 |
| | 30% pentru oțelul 2. |

*Tabela 1*

**Compoziția chimică a oțelurilor studiate**

| % | C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo | V |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Oțel 1 | 0,42 | 0,32 | 0,58 | 0,027 | 0,016 | 1,11 | 0,15 | nd* |
| Oțel 2 | 0,42 | 0,29 | 1,61 | 0,021 | nd* | 0,22 | 0,16 | 0,11 |

*) *nedeterminat*

Temperaturile de austenitizare pentru călire în ulei sînt de 830—850 °C pentru oțelul 1 și de 850—870 °C pentru oțelul 2. Revenirea se face la 530—670 °C.

Urmează să fie comparată tenacitatea pentru ambele oțeluri la rezistențe de 110—130 kgf/mm².

## DETERMINAREA PARAMETRILOR TRATAMENTULUI TERMIC

Din diagramele TTT ale oțelurilor încercate (*fig. 2* și *3*) rezultă că rezistențele amintite pot fi obținute în ambele cazuri prin transformări izotermice între 380 și 400 °C, respectiv între 430 și 450 °C. Datorită dependenței comportării la transformare de procesul de elaborare, ca și în vederea stabilirii duratei de transformare în aceste domenii de temperatură, s-au efectuat măsuri dilatometrice, folosindu-se un dilatometru construit în cadrul institutului (*fig. 4*). Modificarea lungimii probei avînd o lungime de 100 mm și un diametru de 5 mm se transmite la un ceas de măsurare avînd diviziuni de 0,001 mm. Cu ajutorul unui orificiu interior de $\phi$ 3 mm și a unor tăieturi

laterale, căldura produsă la călirea în baia caldă poate fi transmisă atît de repede, încît temperatura de transformare prevăzută se atinge după numai cîteva secunde. În *figura 5* se arată curba de transformare a oțelului 1 la 380 °C, abscisa fiind împărțită logaritmic ; în *figura 6* aceeași curbă este evaluată într-o rețea în care abscisa are diviziuni logaritmice, iar ordonata este divizată după integrala de probabilitate Gauss. În acest caz, alungirea totală a probei se ia egală cu 100% și se introduc cîteva valori intermediare în rețeaua de probabilitate. Curba de transformare devine în acest caz o dreaptă. Prin extrapolare se poate deci determina durata de menținere, necesară bunăoară pentru o transformare de 99,5% în treapta intermediară.

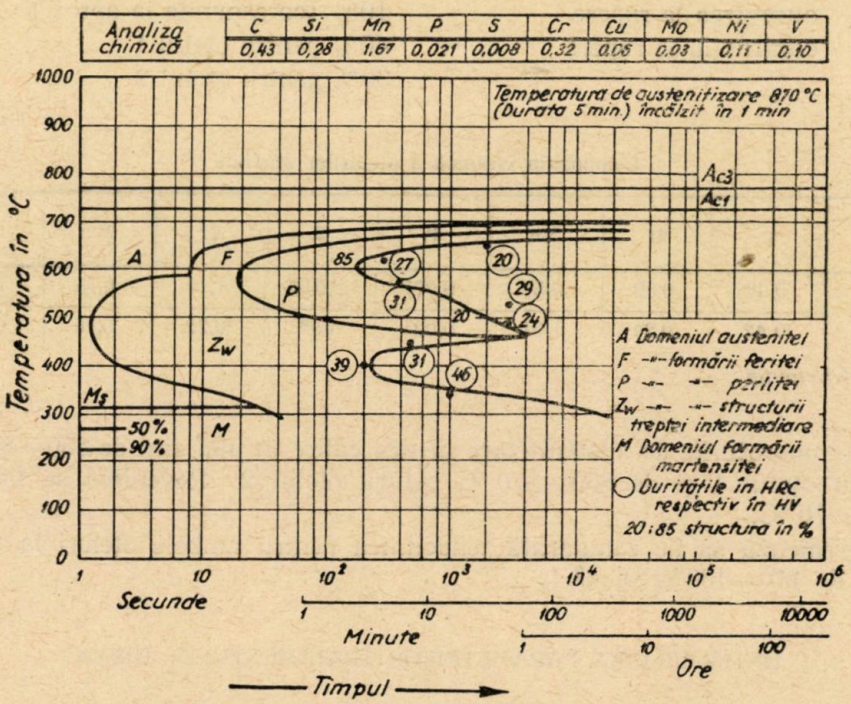



Fig. 2. — Diagramă timp-temperatură-transformare a oțelului *1* la transformare isotermică (după [10])

În tabela 2 se dau duratele de menținere necesare pentru transformarea completă în treapta intermediară, care corespunde indicațiilor dilatometrului. În comparație cu diagramele din *figurile 2* și *3*, aceste durate sînt, în parte, mult mai lungi. Aceasta se poate explica prin faptul că în domeniul examinat diferențe mici de temperatură influențează puternic durata transformării. Se

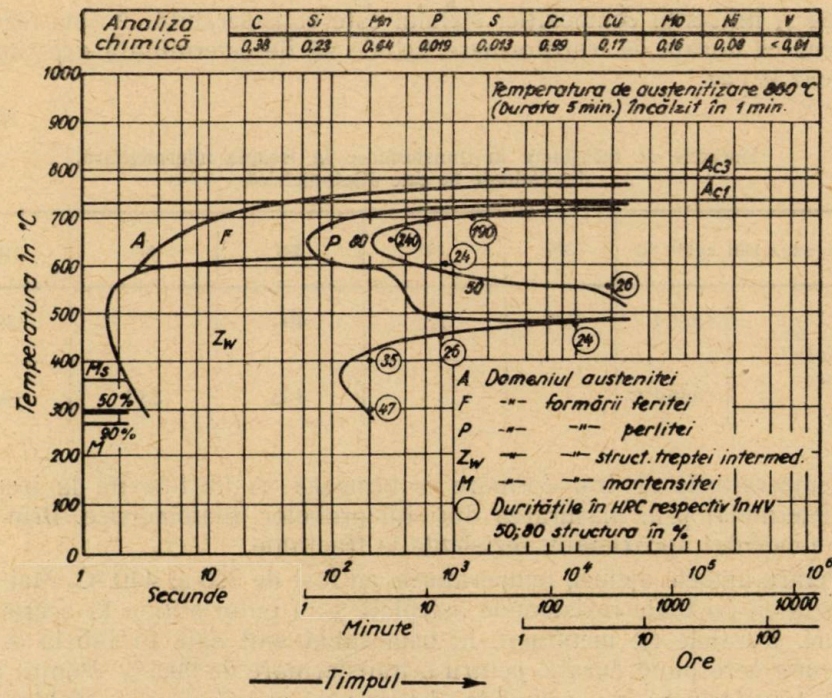



Fig. 3. — Diagramă timp-temperatură-transformare a oțelului *2* la transformare isotermică (după [10])

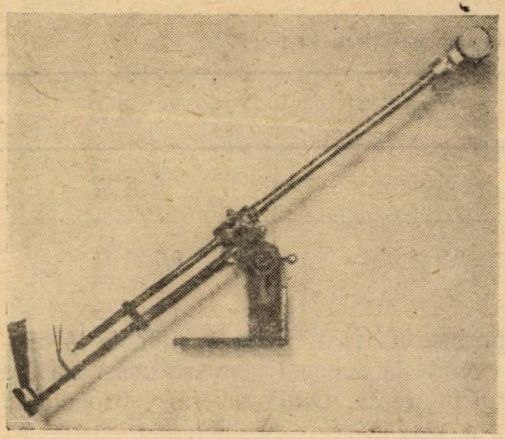


Fig. 4. — Dilatometru pentru baia caldă

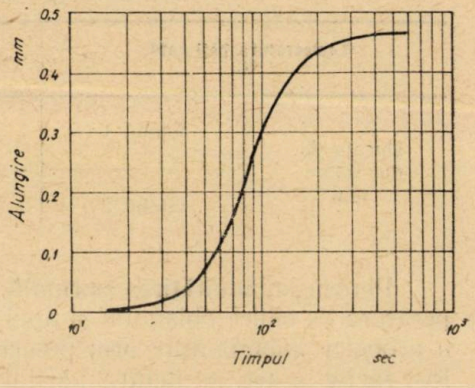



Fig. 5. — Dilatarea unei probe din oțelul *1* la transformarea isotermică la 380 °C ; (ordonate la scara liniară, abscisele la scara logaritmică)

pare că şi influenţa compoziţiei oţelului este considerabilă. Aceste rezultate confirmă că durata de transformare trebuie să fie determinată experimental de la caz la caz.

*Tabela 2*

**Duratele de menţinere la transformare la treapta intermediară, determinate pe cale dilatometrică**

| Temperatura băii calde °C | | 375 | 380 | 395 | 400 | 440 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Durata transformării sec | Oţelul 1 | 600 | 520 | 400 | | 390 |
| | Oţelul 2 | | | 405 | 380 | 360 |

Temperaturile de transformare ce urmează să fie folosite la încercări s-au determinat prin măsurarea durităţii probelor dilatometrice. Prin duritate s-a calculat aproximativ rezistenţa la tracţiune.

Pentru ambele oţeluri, temperaturile au fost de 390 şi 440 °C. Mai tîrziu s-a văzut că nu toate rezistenţele aşteptate s-au putut atinge la aceste temperaturi. Duratele de menţinere în baia caldă sînt date în tabela 3. Cele mai scurte corespund duratei pentru o transformare de 99,5%. Pentru a asigura o transformare mai completă, duratele de menţinere s-au dublat.

*Tabela 3*

**Durata de menţinere la îmbunătăţirea în trepte**

| Temperatura băii calde °C | | 390 | 440 |
|---|---|---|---|
| Durata de menţinere min | Oţelul 1 | 6 şi 12 | 6 şi 12 |
| | Oţelul 2 | 6,5 şi 13 | 5,5 şi 11 |

Pentru îmbunătăţirea normală, probele au fost răcite în ulei de la temperatura de călire obişnuită şi apoi revenite la aceeaşi temperatură ca aceea a probelor îmbunătăţite prin procedeul în trepte. După revenire, probele au fost răcite în aer, la oţelul 2 parţial şi în ulei.

Temperatura de revenire la oţelul 1 era de 540 şi 620 °C, la oţelul 2 de 600 şi 660 °C, iar durata de revenire de circa 2 ore. Toate probele au fost normalizate înainte de îmbunătăţire.

## REZULTATE OBȚINUTE

Valorile încercării la tracțiune, determinate la probe rotunde cu $\phi$ 10 mm și lungimea de măsurare de 100 mm, sînt trecute în tabela 4.

Probele după diferite tratamente termice, a căror tenacitate urma să fie comparată au avut la oțelul 1 o rezistență de aproximativ 124 și 112 kgf/mm², iar la oțelul 2 de circa 120 și 100 kgf/mm². Aceste valori sînt ceva mai mici decît cele inițial prevăzute, pot fi însă utilizabile pentru scopuri comparative.

Pentru încercările de rezistență s-au folosit epruvete încrestate de $10 \times 10$ mm² și o lungime de 55 mm, cu crestături de 3 mm și o rază de curbură la fundul crestăturii de 1 mm. Cum rezultă din *figurile 7* și *8*, rezilienta oțelului 1 la ambele valori ale rezistenței după călirea normală s-a găsit considerabil mai mare decît după călirea în trepte. La rezistența la 124 kgf/mm², diferențele dintre valorile

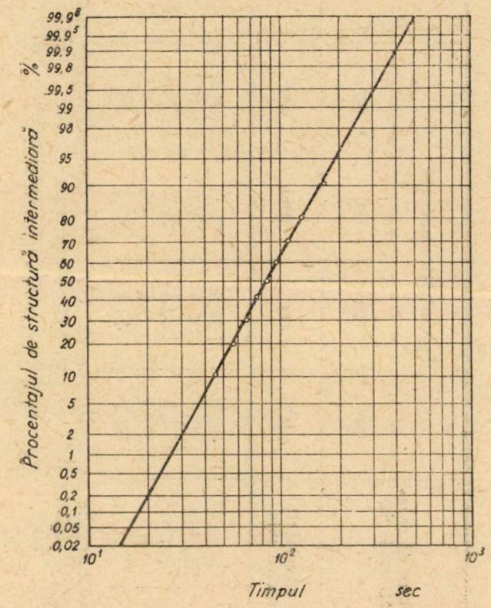



Fig. 6. — Evaluarea curbei de dilatare din figura 5 în rețeaua de probabilitate (ordonatele la scara integralei de probabilitate gaussiene, abscisele la scara logaritmică)

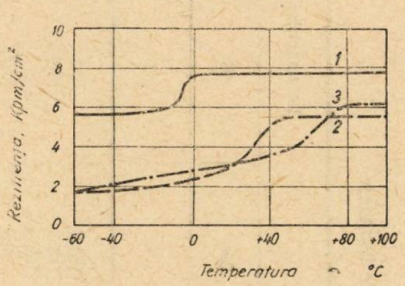



Fig. 7. — Variația rezilienței în funcție de temperatură la oțelul *1*; $\sigma_B \approx$ 124 kp/mm²:

1 — îmbunătățire normală (călire 850 °C/ulei; revenire: 540 °C/aer); 2 — îmbunătățire în trepte (austenitizare: 850 °C; transformare isotermică: 390 °C, 6 minute); 3 — îmbunătățire în trepte (austenitizare: 850 °C; transformare isotermică; 390 °C, 12 minute).

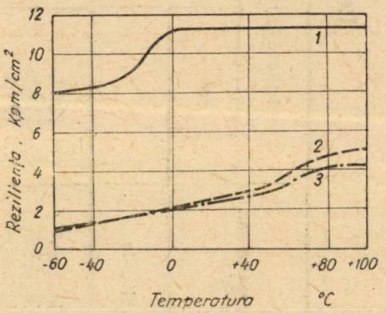



Fig. 8. — Variația rezilienței în funcție de temperatură la oțelul *1*; $\sigma_B \approx$ 112 kp/mm²:

1 — îmbunătățire normală (călire 850 °C, revenire 620 °C/aer); 2 — îmbunătățire în trepte (austenitizare: 850 °C, transformare isotermică: 440 °C, 6 minute); 3 — îmbunătățire în trepte (austenitizare: 850 °C, transformare isotermică: 440 °C, 12 minute).

*Tabela 4*

Rezultatele încercărilor de întindere

Oțel 1

| Temperatura de revenire sau a băii calde °C | | Îmbunătățire normală | | Îmbunătățire în trepte | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 540 | 620 | 390 | 390 | 440 | 440 |
| Durata menținerii min | | | | 6 | 12 | 6 | 6 |
| σ0,01 | kp/mm² | 106,5 | 82,8 | 60,2 | 70,5 | 38,1 | 44,2 |
| σ0,2 | kp/mm² | 112,8 | 94,6 | 93,3 | 95,4 | 74,1 | 74,7 |
| σB | kp/mm² | 124,2 | 109,1 | 124,5 | 123,5 | 114,1 | 112,5 |
| δ10 | % | 8,8 | 9,9 | 8,8 | 9,7 | 9,0 | 8,9 |
| ψ | % | 47.2 | 57,8 | 54,4 | 55,7 | 28,7 | 34,4 |

Oțel 2

| Temperatura de revenire a băii calde °C | | Îmbunătățire normală | | | | Îmbunătățire în trepte *) | | | Îmbunătățire în trepte **) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 600 | 600 | 660 | 660 | 390 | 390 | 440 | 440 | 440 | 440 |
| Durata menținerii sau a răcirii min | | ulei | aer | ulei | aer | 6,5 | 13 | 5,5 | 11 | 2,5 | 5 |
| σ0,01 | kp/mm² | 105,3 | 104,6 | 95,8 | 101,9 | 76,1 | 75,1 | 40,7 | 45,0 | 49,8 | 54,7 |
| σ0,2 | kp/mm² | 106,2 | 105,7 | 97,4 | 103,3 | 86,3 | 85,4 | 66,3 | 67,3 | 71,1 | 71,2 |
| σB | kp/mm² | 118,4 | 120,5 | 99,7 | 104,4 | 119,5 | 120,8 | 101,9 | 99,8 | 100,4 | 98,6 |
| δ10 | % | 10,4 | 9,1 | 9'4 | 9,8 | 9,6 | 9,5 | 12,8 | 12,5 | 14,9 | 14,9 |
| ψ | % | 52,1 | 48,1 | 53,4 | 49,6 | 61,6 | 62,8 | 24,3 | 38,3 | 44,5 | 39,9 |

*) *Temperatura de austenitizare* 860 °C **) *Temperatura de austenitizare* 790 °C

*Prescurtări :* σ0,01 : *0,01 — limita de elasticitate* σB : *rezistența la întindere*
σ0,2 : *0,2 — limita tehnică de curgere* δ10 : *alungire pentru* $l_0 = 10 d_0$
ψ : *contracția*

maxime ale rezilienței pe ramura superioară a curbelor reziliență-temperatură au atins circa 2 kgf/mm², iar cele dintre valorile minime pe ramura inferioară circa 4 kgf/mm². La rezistența de circa 112 kgf/mm², diferențele s-au găsit mai mari : 6,5 și 7 kgf/mm². Drept dezavantaj al călirii în trepte trebuie menționat că trecerea de la valorile maxime la valorile minime se produce începînd de la temperaturi de +80 pînă la +50 °C și numai într-un singur caz ea s-a produs între +50 și +20 °C. Spre deosebire de aceasta, la îmbunătățirea normală trecerea a apărut sub 0 °C.

Structura este foarte concludentă în ce privește interpretarea diferitelor proprietăți. Îmbunătățirea normală produce la oțelul 1 o structură de revenire uniformă, cu granulație fină, așa cum reiese din *figura 9* pentru proba revenită la 620 °C. În structura probei transformată izotermic timp de 6 minute la 390 °C (*fig. 10*), se observă clar numeroase pete de culoare deschisă, înconjurate de structura intermediară de culoare închisă. După microduritatea lor ele sînt de natură martensitică. Întrucît s-a putut admite că menținerea lor în baia caldă a fost de prea scurtă durată, aceasta a fost prelungită la 60 min. Dar aici prin această măsurătoare s-a putut observa o modificare

Fig. 9. — Oțelul *1* îmbunătățit normal, călire : 850 °C, revenire : 620 °C/aer. 500 : 1 ; atacat cu 3% $HNO_3$ în alcool

Fig. 10. — Oțelul *1* îmbunătățit în trepte. (Austenitizare : 850 °C, transformare isotermică : 390 °C, 6 minute). 500 : 1 ; atacat cu 3% $HNO_3$ în alcool

a cantității de martensită. Probele transformate la 440 °C au prezentat aceleași fenomene. De aici se poate trage concluzia că pentru acest oțel transformarea în trepte la temperaturile la care s-a făcut tratamentul rămîne incompletă chiar și după un timp foarte lung. Austenita reziduală se transformă în cursul răcirii pînă la temperatura ambiantă în martensită.

Conținutul de martensită influențează însă și limita de curgere și de elasticitate, fără ca rezistența la tracțiune să se modifice esențial [11]. Așa

cum arată tabela 4, creşterea considerabilă a limitei de elasticitate a oţelului 1, determinată ca limita de alungire 0,01%, se produce atunci cînd durata de menţinere la 390 şi 440 °C se dublează. Limita de curgere (determinată ca limită de curgere tehnică 0,2%), rezistenţa la tracţiune şi rezilienţa rămîn însă practic neschimbate (*fig. 7* şi *8*). Prin aceasta se confirmă că procentajul de austenită reziduală scade numai foarte puţin cu durata de menţinere prelungită şi că, în limitele timpului admisibil, în tratamentul termic nu se poate obţine practic o transformare completă.

Din tabela 4 mai rezultă că la oţelul 1, la rezistenţă egală, limita de elasticitate şi limita de curgere după călirea în trepte sînt considerabil mai scăzute decît după îmbunătăţirea normală. Alungirea la rupere este aproximativ aceeaşi, în timp ce contracţia la rupere la rezistenţe mai mari este mai mare, iar la rezistenţe mai mici este mai redusă. Prin urmare, proprietăţile după călirea în trepte sînt mai slabe decît cele după îmbunătăţirea normală. Limita de curgere şi contracţia la rupere sînt în parte inferioare valorilor impuse de standarde. Rezultă deci că aplicarea practică a călirii în trepte în domeniul de rezistenţă studiat nu este recomandabilă.

În *figura 11* s-a încercat să se determine, prin extrapolarea grafică a valorilor observate, rezistenţele la care valorile rezistenţei sînt practic egale cu proprietăţile dobîndite la îmbunătăţirea normală respectiv prin transformarea izotermică. Din această diagramă rezultă că rezilienţa este mai bună după călirea în trepte decît după îmbunătăţirea normală dacă rezistenţa este de cel puţin 140 kgf/mm². Această valoare este în bună concordanţă cu unele date din literatură. Dacă se efectuează aceeaşi extrapolare pentru limita de elasticitate, superioritatea călirii în trepte se evidenţiază numai pentru rezistenţa de peste 180 kgf/mm². Cum punctele de măsurare sînt în acest caz foarte departe de punctul de intersecţie al dreptelor, extrapolarea este foarte incertă şi o comparaţie cu valorile măsurate nu este posibilă.

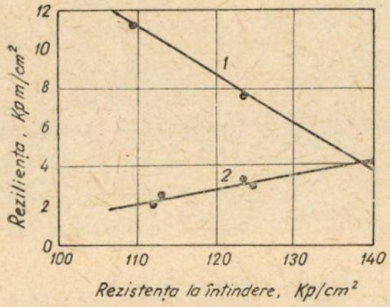



Fig. 11. — Determinarea rezistenţei la întindere la care rezilienţa obţinută la îmbunătăţire normală (curba 1) devine egală cu aceea înregistrată la îmbunătăţirea în trepte (curba 2)

La oţelul 2, diferenţele dintre tenacităţi au fost mai mici ca la oţelul 1 atît după îmbunătăţirea normală cît şi după călirea în trepte. După cum rezultă din *figurile 12* şi *13*, rezilienţa după călirea în trepte la rezistenţa de 120 kgf/mm² a fost mai mare decît aceea obţinută la îmbunătăţirea normală, iar la rezistenţa de 100 kgf/mm² rezilienţa a fost numai cu puţin mai mică. Şi la acest oţel domeniul de scădere bruscă a rezilienţei a apărut la temperaturi aproximativ egale cu cele ale oţelului 1, adică între 0 şi —10 °C după îmbunătăţirea normală şi între +50 şi +80 °C după călirea în trepte.

Întrucît curbele rezilienţă-temperatură ale probelor răcite în aer şi ulei după revenire practic se suprapun, în diagramă nu s-a trasat decît cîte o curbă. Cele două moduri de răcire s-au făcut pentru a vedea dacă acest oţel prezintă o fragilitate de revenire. O astfel de fragilitate nu s-a constatat.

La călirea în trepte, mărirea de două ori a timpului de menţinere în baia caldă nu avut decît un efect redus. Limita de curgere şi limita de elas-

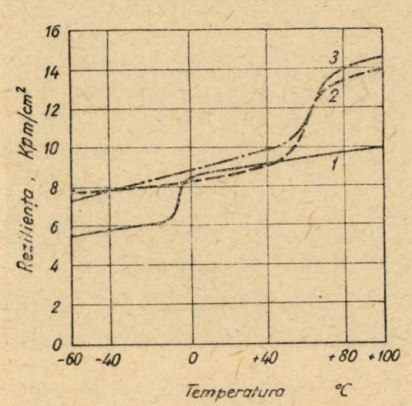



Fig. 12. — Variaţia rezilienţei în funcţie de temperatură la oţelul *2*; $\sigma_B \approx 120$ kp/mm²:

1 — îmbunătăţire normală (călire: 650 °C/ulei, revenire: 600 °C/ulei; 2 — îmbunătăţire în trepte (austenitizare: 860 °C, transformare isotermică: 390 °C, 13 minute).

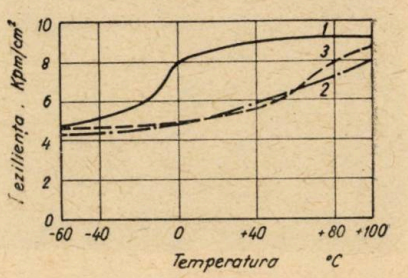



Fig. 13. — Variaţia rezilienţei în funcţie de temperatură la oţelul *2*; $\sigma_B \approx 100$ kp/mm²:

1 — îmbunătăţire normală (călire: 860 °C/ulei, revenire: 660 °C/aer); 2 — îmbunătăţire în trepte (austenitizare: 860 °C, transformare isotermică: 440 °C, 5,5 minute); 3 — îmbunătăţire în trepte (austenitizare: 860 °C, transformare isotermică: 440 °C, 11 minute).

ticitate nu s-au modificat (tabela 4). *Figurile 14* şi *15* arată că structura acestui oţel este foarte uniformă şi conţine doar cantităţi mici de martensită. Prin aceasta se confirmă presupunerea că rezilienţa scăzută a oţelului 1 este legată de conţinutul mărit de martensită.

Cu toată transformarea în trepte aproape completă a oţelului 2, există în plus şi alte deosebiri faţă de îmbunătăţirea normală, care iese în evidenţă cînd se compară pentru aceeaşi rezistenţă limitele de elasticitate, limitele de curgere şi contracţiile trecute în tabela 4.

Nici la acest oţel nu s-au atins întotdeauna valorile prescrise în standarde. Deosebirile dintre modul de formare şi natura structurilor permit concluzia că ele se deosebesc sensibil în ce priveşte distribuţia elementelor de aliere şi structura fină.

Valorile favorabile ale rezilienţei în domeniul de rezistenţă examinat-studiat, observate la o parte a probelor din oţelul 2 îmbunătăţit izotermic, nu justifică încă recomandarea aplicării acestui procedeu pentru tratamentul termic al acestui material

Trebuie ținut cont și de faptul că temperatura de trecere de la valorile maxime la valorile minime ale rezilienței este nefavorabilă și că din această cauză pericolul de rupere fragilă este considerabil.

Fig. 14. — Oțelul 2 îmbunătățit în trepte. Austenitizarea 860 °C, transformare isotermică : 390 °C, 13 minute. 500 : 1, atacat cu 3% $HNO_3$ în alcool

Fig. 15. — Oțelul 2 îmbunătățit în trepte. (Austenitizare : 860 °C, transformare isotermică : 440 °C, 11 minute.) 500 : 1, atacat cu 3% $HNO_3$ în alcool

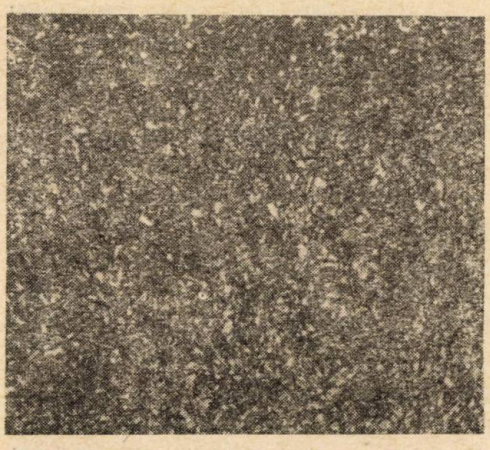


Fig. 16. — Oțelul *2* îmbunătățit în trepte. (Austenitizare : 790 °C, transformare isotermică : 440 °C, 5 minute.) 500 : 1, atacat cu 3% $HNO_3$ în alcool

La oțelul 2, rezistența extraplată, la care rezilienței după îmbunătățirea normală și călirea în trepte sînt egale, este de circa 115 kgf/mm². Extrapolarea limitelor de elasticitate duce la un punct de intersecție la circa 140 kgf/mm².

În lucrarea amintită [11] s-a constatat că diferitele oțeluri de îmbunătățire, printre care și oțelul 2 examinat, prezintă rezilienței mult mai mari

atunci cînd la călire în trepte nu se călesc de la temperatura obișnuită de călire, ci de la temperaturi mult mai joase. De aceea, într-o altă serie de încercări, temperatura de austenitizare s-a redus de la 860 la 790 °C, iar la 440 °C — cu o durată de menținere de 2,5 și 5 min — s-a făcut transforma-

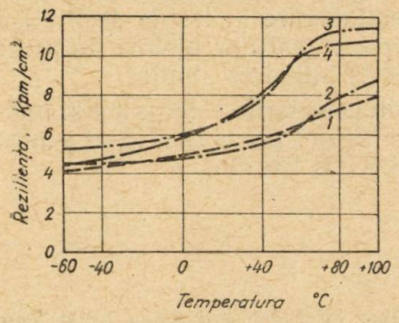



Fig. 17. — Variația rezilienței în funcție de temperatură la oțelul *2*; $\sigma_B \approx 100$ kp/mm²:

1 — îmbunătățire în trepte (austenitizare: 860 °C, transformare isotermică: 440 °C, 5,5 minute); 2 — îmbunătățire în trepte (austenitizare: 860 °C, transformare isotermică 440 °C, 11 minute); 3 — îmbunătățire în trepte (austenitizare: 790 °C, transformare isotermică: 440 °C, 2,5 minute); 4 — îmbunătățire în trepte (austenitizare: 790 °C, transformare isotermică: 440 °C, 5 minute).

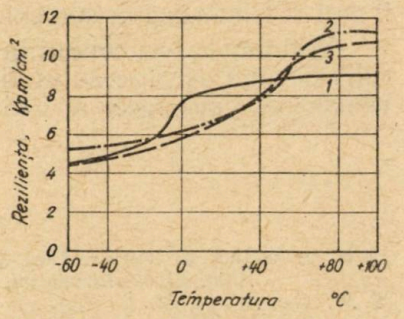



Fig. 18. — Variația rezilienței în funcție de temperatură la oțelul *2*; $\sigma_B \approx 100$ kp/mm²:

1 — îmbunătățire normală (călire: 860 °C/ulei, revenire: 660 °C/aer); 2 — îmbunătățire în trepte (austenitizare: 790 °C, transformare isotermică: 440 °C, 2,5 minute); 3 — îmbunătățire în trepte (austenitizare: 790 °C, transformare isotermică 440 °C, 5 minute).

rea în treapta intermediară. S-a obținut o structură foarte fină fără ca procentajul de martensită să se mărească (*fig. 16*). În *figura 17* se arată curbele rezilienţă-temperatură în comparație cu valorile obținute după călirea la 860 °C, iar în *figura 18* în comparație cu îmbunătățirea normală la aceeași rezistență. Prin reducerea temperaturii de austenitizare, tenacitatea s-a mărit considerabil, în special la temperaturi mai mari ca temperatura ambiantă, dar domeniul de trecere bruscă al curbelor este cuprins tot între +50 și +80 °C. Comparînd valorile limitei de curgere și ale limitei de elasticitate, din tabela 4 rezultă o creștere față de probele călite la 860 °C, dar valorile ce se pot obține la călirea normală sînt departe de a fi atinse.

## CONCLUZII

S-au studiat două oțeluri de îmbunătățire standardizate dacă este posibilă o îmbunătățire a caracteristicilor mecanice, în special a tenacității, în domeniul de rezistență la întindere uzual prin călirea în trepte, în comparație cu procedeul de îmbunătățire obișnuit prin călire și revenire. La oțelul 24CrMo4 rezilienţa după călirea în trepte a fost considerabil mai mică decît

după îmbunătățirea normală, iar la oțelul 42MnV7 rezultatele obținute asupra epruvetelor călite în trepte au fost superioare celor îmbunătățite prin procedeul obișnuit numai la rezistența de 120 kgf/mm². Aproape în toate cazurile, trecerea de la valorile maxime la valorile minime ale curbei rezilienței-temperatură s-a produs de la circa 50 la 80 °C. Limitele de curgere și de elasticitate s-au găsit mult mai scăzute după îmbunătățire în trepte decît după îmbunătățirea normală. Îmbunătățirea în trepte a ambelor oțeluri nu poate fi deci recomandată în domeniul de rezistență la întindere studiat.

Rezultatele s-au obținut în mare parte prin cercetările efectuate din indicația noastră de către d-nul dipl. ing. Walter Ertner de la Institutul pentru tehnologia materialelor al Universității tehnice din Dresda.

## BIBLIOGRAFIE

1. H. J. Wiester (1944): Das Zwischenstufengefüge im Stahl und seine Entstehung. *Arch. Eisenhüttenwesen*, **18**, *1/2*, 97—112.
2. W. Connert, H. Kiessler (1948): Untersuchungen über die Anwendbarkeit der Zwischenstufenvergütung. *Stahl u. Eisen*, **68**, *9/10*, 137—151.
3. S. J. Matas, R. F. Heheman (1961): The structure of bainite in hypoeutectoid steels. *Trans. Met. Soc.* AIME **221**, 179—185.
4. P. Vasudevan, L. W. Graham, H. J. Axon (1958): The kinetics of bainite formation in a plain carbon steel, *J. Iron Steel Inst.*, 386—391.
5. J. S. Withe, W. S. Owen (1960): Kinetic features of upper and lower bainite formation in a plain carbon and a 3% Ni-Cr-steel, *J. Iron Steel Inst.*, 79—82.
6. M. Hempel (1960): Über einige technologische Einflüsse auf die Dauerschwingfestigkeit von Stählen, *Draht*, **11**, *9*, 589—600.
7. K. Walz (1950): Die Isothermhärtung, *Die Technik*, **5**, *12*, 581—585.
8. H. Tauscher (1964): Der Einfluss der Zwischenstufenvergütung auf die Dauerfestigkeit von Stahl. *Draht*, **15**, *8*, 519—521.
9. O. Schaaber (1955): Zur Frage der industriellen Anwendung der Zwischenstufenvergütung. *Industriebl.*, **55**, Beil. Härterei-Techn., 1—4.
10. * * * (1954—1958): *Atlas zur Wärmebehandlung der Stähle*. Ed. F. Wever, A. Rose etc., Düsseldorf: Verl. Stahleisen.
11. O. Schaaber (1954): Erfahrungen mit der Zwischenstufenvergütung. *Härterei-Techn. Mitt.*, **6**, *4*, 9—29.

# CONTRIBUȚII LA METODICA ÎNCERCĂRILOR DE REZISTENȚĂ ALE PIESELOR POROASE INELARE SINTERIZATE

A. DOMȘA și L. BOTHA

*Institutul politehnic, Cluj*

Se recomandă pentru determinarea proprietăților mecanice ale pieselor poroase sinterizate, de formă inelară, utilizarea epruvetelor inelare supuse la compresiune, cu o geometrie și porozitate riguros controlată, în locul epruvetelor obișnuite la întindere axială.

În majoritatea cazurilor, piesele poroase de formă inelară elaborate din pulberi metalice îndeplinesc funcția de lagăre cu alunecare. Ca urmare, la determinarea caracteristicilor lor se pune accentul pe performanțele lor funcționale : coeficientul de frecare, capacitatea de autolubrifiere pe baza porozității, încărcarea limită etc.

Alte produse de aceeași formă și natură îndeplinesc rolul de filtre și deci principalele lor caracteristici trebuie să exprime limitele capacității de filtrare, determinate de forma și de valoarea porozității.

Cu toate acestea, produsele menționate sînt supuse, de regulă, și unor încercări de rezistență mecanică. Valorile obținute completează tabloul caracteristicilor materialului și prezintă interes deoarece, în primul rînd, prin montaj și prin funcțiunea lor produsele respective sînt supuse unor solicitări mecanice față de care trebuie să reziste ; în al doilea rînd, încercările mecanice constituie cea mai sigură informație despre efectul sinterizării și deci stau la baza controlului intern de calitate al acestei operații.

Încercarea la tracțiune, datorită caracterului ei clasic atît ca metodă, cît și ca rezultat, ar părea să fie preferată și în cazul de față. Dar practicarea ei pretinde confecționarea de epruvete în paralel cu fabricarea pieselor inelare, fapt care include în sine sursa unor abateri dintre caracteristicile mecanice ale celor două tipuri de produse : epruveta și piesa inelară, chiar dacă se respectă aceeași tehnologie [1]. O cauză a acestor abateri este repartiția neuniformă a porozității. Astfel, de exemplu, la o piesă de formă longitudinală cum este epruveta de tracțiune, este posibil ca porozitatea să fie mai mare spre un capăt decît spre celălalt. În schimb, la o piesă inelară cilindrică presată cu efect bilateral, porozitatea cea mai mare se va afla pe o secțiune

circulară care taie în două jumătăți generatoarele cilindrului. În rest, porozitatea ei se repartizează uniform pe fiecare secțiune circulară și descrescînd simetric, de-a lungul celor două jumătăți de generatoare.

Din aceste motive se recurge în cazul pieselor inelare la încercări de rezistență efectuate direct pe produse [2]. Acestea pot fi :

— compresiunea radială (*fig. 1 a*);
— compresiunea axială (*fig. 1 b*);
— pătrunderea unui dorn tronconic (*fig. 1 c*) și
— la presiune interioară (*fig. 1 d*).

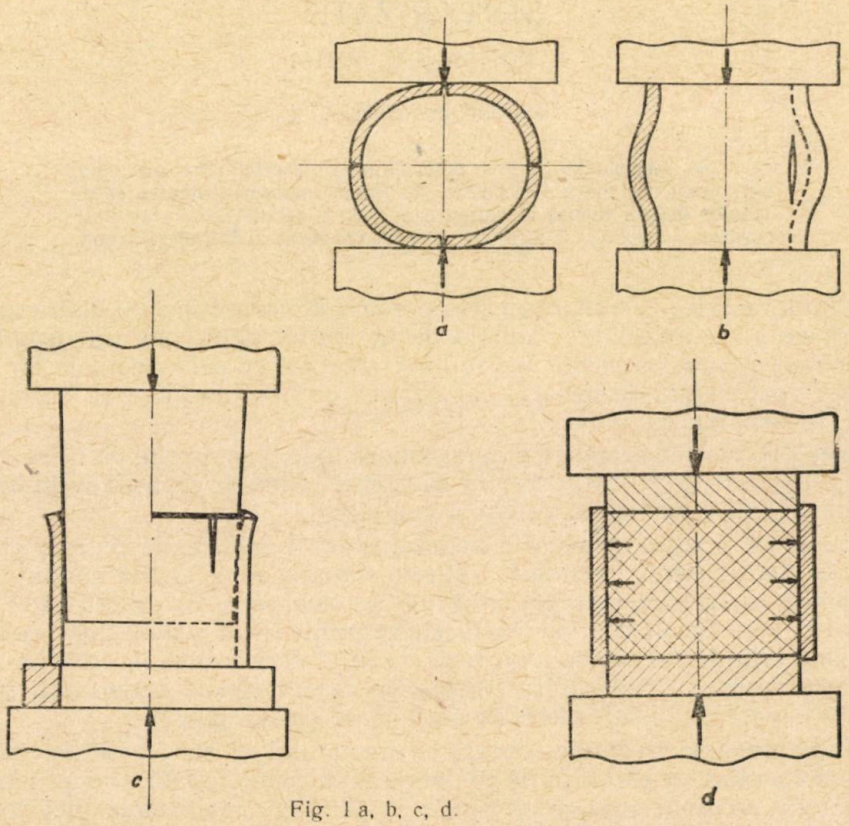



Fig. 1 a, b, c, d.

Aceste încercări au avantajul că dau informații nemijlocite asupra rezistenței unui produs de mare serie. În schimb prezintă dificultăți în ce privește interpretarea teoretică a rezultatului, deoarece solicitarea, fiind complexă, e mai greu de exprimat prin relații matematice riguroase.

La efectuarea acestor încercări este necesar să se țină seama de caracterul fragil al ruperii corpurilor poroase, chiar dacă scheletul lor metalic

aparține categoriei materialelor tenace. Tot datorită porozității este necesar să se mai aibă în vedere strivirea locală a straturilor superficiale de material sub acțiunea unei compresiuni oarecare.

*Compresiunea radială*

Pentru ca solicitarea din *figura 1 a* să poată fi exprimată matematic printr-o formulă utilizabilă în practică, sînt necesare unele ipoteze simplificatoare, dintre care cele mai importante sînt :

— inelul este perfect cilindric și de secțiune circulară ;

— porozitatea lui este aceeași, repartizată uniform ;

— diametrul mediu este foarte mare față de grosimea peretelui inelului, adică

$$\frac{D_m}{t} \gg 1 ;$$

— deformația în timpul solicitării este mică în raport cu diametrul și este pur elastică.

În aceste condiții, solicitarea se poate reprezenta schematic în *figura 2*.

Exprimînd variația momentului încovoietor

$$M = -M_A + \frac{P}{2} R(1-\cos\varphi) \qquad (1)$$

și aplicînd teorema lui Castigliano, se ajunge în final la relația

$$\sigma_k = \frac{0{,}318\, P_{max} R_m}{\frac{bt^2}{6}}, \qquad (2)$$

care se poate aproxima cu relația practică

$$\sigma_k = \frac{P_{max} D_m}{bt^2} \text{ kgf/mm}^2, \qquad (3)$$

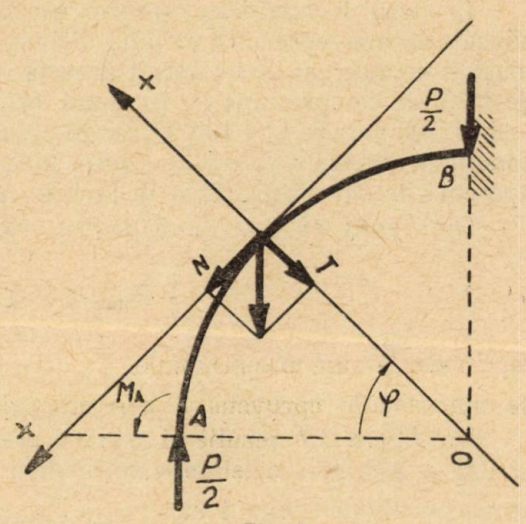



Fig. 2

în care :

$\sigma_k$ este efortul unitar de încovoiere în momentul ruperii prin compresiune radială,

$P_{max}$ — forța de rupere,

$D_m = 2R_m$ — diametrul mediu al epruvetei,

b — lungimea generatoarei,

t — grosimea peretelui epruvetei.

Incercările efectuate prin această metodă au pus în evidență, cel puțin în cazul produselor feroase, că unele dintre ipotezele simplificatoare enunțate, deși acceptabile în principiu, necesită discuții și interpretări de la caz la caz, în funcție de material, de tehnologia sinterizării și de dimensiunile epruvetei.

In continuare se prezintă cîteva dintre aceste aspecte, desprinse din încercările pieselor obținute prin presarea și sinterizarea următorului amestec de pulberi [3]:

| | |
|---|---|
| fier redus tip FREM. P. 150 ($< 150\,\mu m$) . . | 96,5% |
| cupru redus ($< 60\,\mu m$) . . . . . | 3,0% |
| grafit . . . . . | 0,5% |
| | 100,0% |

Pentru studiu au fost confecționate epruvete normalizate cu dimensiunile

$$D_m = 23 \text{ mm}; \quad b = 26 \text{ mm}; \quad t = 3 \text{ mm};$$

avînd o porozitate totală corespunzătoare unei densități aparente de sinterizare cuprinsă între valorile $\rho_s = 5{,}0$ și $6{,}4\ g/cm^3$.

In cursul încercării epruvetelor necalibrate s-a urmărit deformarea prin săgeata f, care reprezintă variația distanței dintre plăcile de compresiune ale mașinii de încercat și s-a trasat această variație în *figurile 3 a, b*, în funcție de forța de compresiune P. In cazul din *figura 3 a* durata de sinterizare a fost de 100 minute la 1 100 °C, iar în cazul din *figura 3 b*, de 200 min, restul condițiilor, inclusiv viteza de răcire, fiind menținute identice, iar densitatea aparentă de sinterizare fiind în ambele cazuri $\rho_s = 5{,}8\ g/cm^3$.

Din *figura 3 a* rezultă că pentru valori ale forței cuprinse în domeniul

$$\frac{1}{5} P_{max} < P < \frac{3}{4} P_{max}$$

rapoartele $\frac{P}{f}$ sînt proporționale. Valorile lor, respectiv panta curbei, depind de dimensiunile epruvetei, de porozitate și de condițiile de fabricație.

Din *figura 3 b* rezultă că printr-o prelungire a duratei de sinterizare de la 100 la 200 min, celelalte condiții fiind neschimbate, limita superioară de proporționalitate coboară sub $P = \frac{2}{3} P_{max}$, iar deasupra acestei valori a forței are loc o deformare plastică progresivă. Totodată, deformația totală $f_{max}$ crește în cazul din *figura 3 b* cu 15—25% față de deformația maximă măsurată în cazul din *figura 3 a*.

Aceste constatări confirmă punctul de vedere că în decursul sinterizării are loc un proces continuu de transformare a formei și mărimii porilor, fapt ce se reflectă în comportarea epruvetei în timpul solicitării. Prin prelungirea sinterizării scade fragilitatea materialului, îndeosebi prin rotunjirea porilor

și deci prin scăderea efectului de crestătură. O urmărire atentă a comportării epruvetei furnizează deci indicații în plus asupra fragilității și elasticității materialului, mai ușor de pus în evidență decît prin încercarea la tracțiune.

Experimental s-a constatat că, în ambele cazuri ilustrate în *figura 3*, deformațiile sub limitele superioare de proporționalitate sînt reversibile, cu excepția deformației remanente, produsă prin strivirea locală a materialului poros, care se petrece în prima etapă a solicitării și este localizată pe cele două generatoare de contact dintre epruvetă și plăcile mașinii.

Continuînd solicitarea pînă la rupere, ea are loc sub forma fisurării pe întreaga lungime a uneia sau a ambelor generatoare de contact ale epruvetei cu plăcile mașinii. Din relația (1) reiese că momentul încovoietor are o valoare maximă chiar în aceste două secțiuni, iar un alt maxim, de semn contrar cu primul și mai mic în valoare absolută decît acesta, este situat în secțiunile aflate la 90° față de generatoarele de contact. Dacă se continuă compresiunea și după apariția primelor două fisurări, vor apărea într-adevăr alte două fisuri în planul orizontal de simetrie al epruvetei turtite.

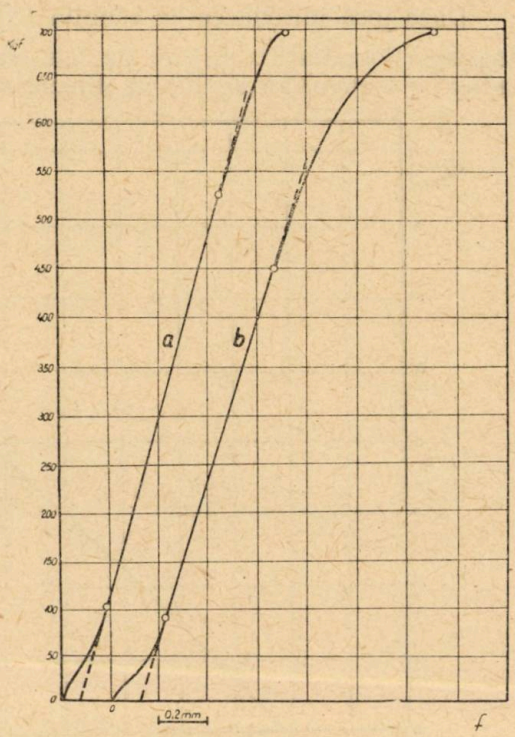



Fig. 3 a, b

Înlocuind în formula (3) valorile forței de rupere $P_{max}$, se obțin valorile pentru $\sigma_k$, care variază în funcție de densitatea aparentă de sinterizare conform *figurii 4*.

Dimensiunile, materialul și tehnologia de fabricație a epruvetelor încercate pentru *figura 4* sînt cele corespunzătoare din *figura 3 a*, cu excepția densității aparente, variată prin modificarea regimului de presare.

În comparație cu rezistența la tracțiune măsurată pe epruvete confecționate prin presare direct la forma și la dimensiunile standardizate internațional, din același material și după aceeași tehnologie, s-a constatat următoarea relație experimentală :

$$\sigma_r = (0{,}45—0{,}55)\sigma_k \qquad (4)$$

Pornind de la schema de solicitare din *figura 2* și pe baza aceloraşi premize de calcul menționate, rezultă ecuația de deformare a inelului elastic

$$E = 0{,}149 \frac{R_m^3}{I_z} \cdot \frac{P}{f} \text{ kgf/mm}^2, \qquad (5)$$

în care :

E este modulul de elasticitate longitudinal,

$I_Z$ — momentul de inerție.

Dacă însă introducem în ecuația (5) valorile $\frac{P}{f}$ măsurate în domeniul de proporționalitate constatate pe cale grafică la solicitarea prin compresiune radială a epruvetelor de diferite dimensiuni și cu densitate aparentă identică

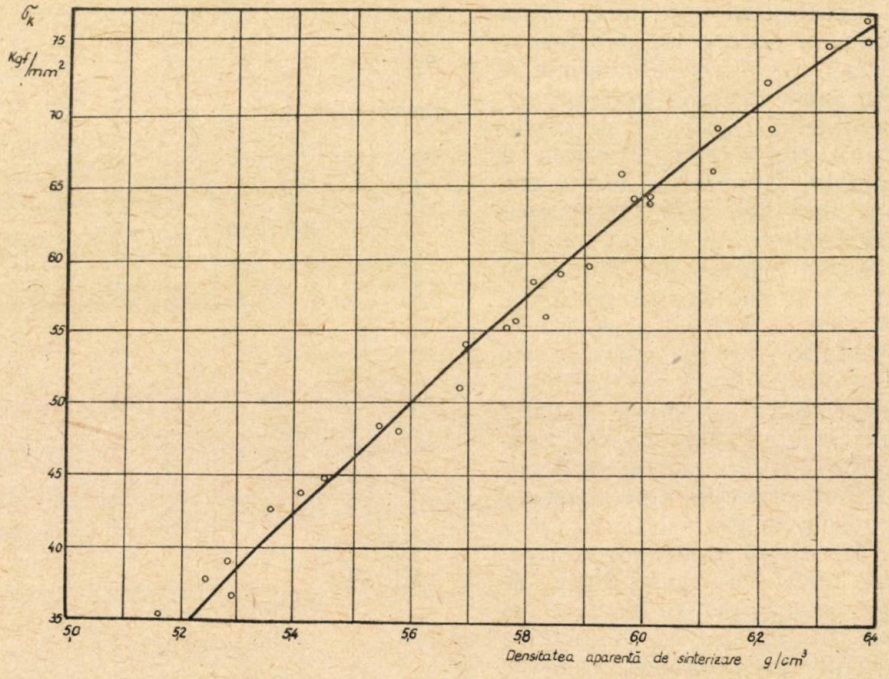



Fig. 4

($\rho_s = 5{,}9 \pm 0{,}1$ g/cm³), se obține curba din *figura 5*. Din această figură rezultă că ecuația (5) poate fi considerată valabilă numai pentru valori foarte mari ale raportului $\frac{D_m}{t}$, mai ales prin majorarea diametrului mediu $D_m$, grosimea peretelui find menținută la valori $t \leqslant 4$ mm. Abia pentru rapoarte $\frac{D_m}{t} > 18$ s-au obținut valori ale modulului de elasticitate E, care se încadrează în limitele de valori publicate și obținute la aceleași materiale prin alte metode.

Revenind la ipotezele simplificatoare de calcul acceptate pentru deducerea formulei (3), din datele experimentale menționate rezultă că aceste ipoteze introduc posibilități de eroare sistematică în aprecierea rezistenței materialului, studiată pe epruvete inelare. Formula (3) este foarte utilă în practică, dar deși valorile obținute cu ajutorul ei au semnificația unei rezistențe la încovoiere, ele trebuie interpretate drept indici speciali de rezistență, cu valabilitate limitată strict la compresiunea radială. Pare deci recomandabil, din același motiv, ca pentru caracterizarea unui anumit material sin-

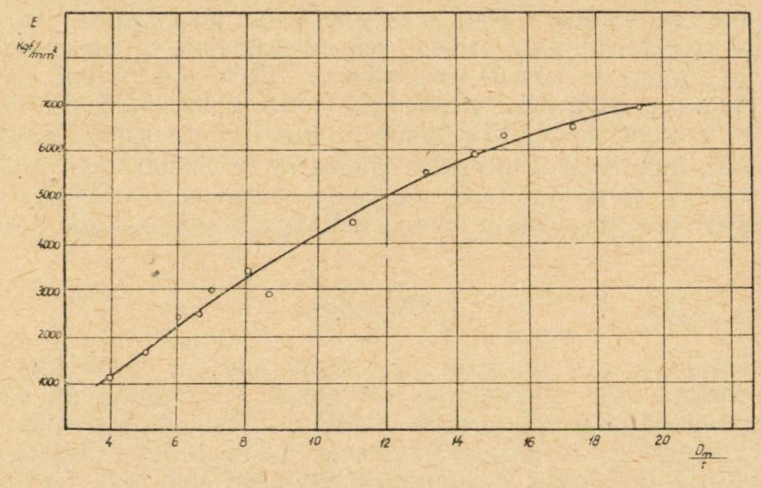



Fig. 5

terizat să se determine experimental mai întîi curba rezistenței la compresiune radială $\sigma_k$ obținută pe epruvete inelare cu dimensiuni normalizate în funcție de porozitate, apoi să se stabilească o relație experimentală între $\sigma_k$ și rezistența la tracțiune $\sigma_r$ obținută prin încercarea clasică a epruvetelor din același material și, în sfîrșit, să se cerceteze în ce măsură valorile $\sigma_k$ constatate pe piese inelare, ale căror dimensiuni diferă de cele normalizate (piese din loturile fabricate), se abat de la valorile constatate pe epruvete inelare normalizate.

Rezultă mai departe că este necesar să se aleagă pentru încercări epruvete inelare cu geometria și cu porozitatea riguros controlate; un buletin de încercare mecanică din care lipsește indicația porozității epruvetei este deci lipsit de valoare.

Încercările la compresiune radială ale unor piese inelare de geometrie mai complexă (de ex. cu guler), au, din motivele arătate, o valoare pur informativă și se practică numai cu scopul verificării gradului de sinterizare al fiecărui lot de fabricație, fără a putea caracteriza materialul respectiv.

Față de metoda încercării prin compresiune radială, toate celelalte metode schițate în *figura 1* au o aplicație mai restrînsă.

Compresiunea axială necesită forțe de rupere de 10—15 ori mai mari decît forțele necesare ruperii acelorași epruvete prin compresiune radială. Deformarea remanentă a epruvetei predomină, iar exprimarea matematică a rezistenței constatate este mai dificilă. Se măsoară variația înălțimii epruvetei și a diametrului ei maxim în funcție de forța aplicată, iar sfîrșitul încercării se consideră la apariția primei fisuri.

Prin introducerea unui dorn tronconic într-o epruvetă inelară se poate obține un indiciu prețios cu privire la sensibilitatea materialului față de operația de calibrare interioară. Pentru caracterizarea materialului prin această metodă de încercare sînt necesare epruvete cu geometrie și porozitate riguros controlate și o gamă de dornuri tronconice de diferite dimensiuni. Încercarea permite aprecierea deformației elastice și plastice a alezajului și a diametrului exterior, precum și condițiile limită de apariție ale primei fisuri.

În sfîrșit, încercarea la presiune interioară se execută prin intermediul unui material cu plasticitate ridicată, ca, de exemplu, plumb sau cauciuc, iar solicitarea poate fi calculată analog cu încercarea la presiune a tuburilor.

## CONCLUZII

Dificultățile de caracterizare a rezistenței pieselor sinterizate poroase de formă inelară, prin intermediul epruvetelor de tracțiune au condus la metode speciale de încercare, care se preferă în funcție de indicațiile pe care le pot oferi. Dintre aceste metode, încercarea la compresiune radială este cea mai concludentă. Ea permite, în anumite împrejurări date, să se facă aprecieri nu numai privind rezistența la rupere, ci și asupra gradului de elasticitate și de fragilitate a materialului și implicit asupra gradului de sinterizare.

Pentru rigurozitatea încercărilor se recomandă utilizarea de epruvete normalizate, cu dimensiuni și porozitate controlate. Rezultatul încercării trebuie însoțit cel puțin de valoarea porozității epruvetei și de mențiunea dacă a fost sau nu calibrată în prealabil.

Dat fiind că standardele respective lipsesc sau sînt prea sumare și că comportarea materialelor sinterizate poroase la încercări mecanice prezintă particularități, este indicat ca întreprinderile producătoare de astfel de produse să efectueze cercetări proprii de rezistență, iar metodica și rezultatele acestora să fie transmise beneficiarilor.

## BIBLIOGRAFIE

1. L. Botha (1965): Incercări și analize în metalurgia pulberilor. Din vol. *Incercări și analize de metale*. Coord. șt. Șt. Nădășan. Ed. Tehnică, București.
2. A. Domșa și alții (1966): *Tehnologia fabricării pieselor din pulberi metalice*. Ed. Tehnică, București.
3. L. Botha (1965): Beiträge zu den mechanischen Prüfverfahren von porösen ringförmigen Sintereisenwerkstücken. *III. Internationale pulvermetallurgische Tagung*, Eisenach, R.D. Germană.

# UNELE PARTICULARITĂȚI ALE ÎNCERCĂRILOR DE REZISTENȚĂ PE MODELE DIN ELEMENTE CU DIMENSIUNI MICI

L. BOLEANȚU, M. FISCHER, T. BABEU
*Institutul politehnic, Timișoara*

Lucrarea cuprinde considerații asupra alegerii tipului de extensometru în studiul experimental al deformațiilor pe modele din elemente cu dimensiuni mici și arată avantajele tensometriei electrice rezistive în astfel de cazuri. Pentru această metodă aplicată pe modele din elemente cu dimensiuni mici se precizează unele particularități în tehnologia metodei și se dezvoltă în special un calcul al erorilor de măsurare provenite din diferite cauze, ca de exemplu: curbura elementului în planul transversal, grosimea stratului de adeziv, montarea înclinată al traductorului față de direcția considerată, atît în cazul pieselor plane, cît și la cele cilindrice, solicitate la întindere și încovoiere. Pe baza relațiilor deduse, pentru aceste erori s-au trasat diagrame cu ajutorul cărora se pot corecta valorile măsurate în condițiile arătate.

Încercările pe modele au ca scop să completeze, să confirme sau chiar să înlocuiască calculele de rezistență în vederea definitivării soluției constructive adoptate, tehnica încercărilor pe modele pentru analiza tensiunilor și a stabilității găsindu-și astfel aplicații din ce în ce mai largi în practică, pe măsura accentuării tendinței de utilizare rațională a materialelor la limite maxime ale caracteristicilor mecanice de rezistență și stabilitate în vederea obținerii unor construcții cît mai ușoare la un coeficient de siguranță dat.

Pentru a economisi material și manoperă se tinde spre utilizarea unor modele cît mai mici față de original. Această mărime a raportului dintre model și original conduce la folosirea elementelor cu dimensiuni mici în construirea modelului, a căror exploatare din punctul de vedere al rezistenței ridică o serie de probleme în ceea ce privește extensometrele utilizate, erorile de măsurare ale deformațiilor și propagarea erorilor la transpunerea rezultatelor de la model la original.

În lucrare se analizează și se rezolvă unele aspecte ale problemelor ce se formulează din acest punct de vedere pentru delimitarea dimensiunilor

modelului și a elementelor componente, respectiv cunoașterea erorilor și deci corecțiile ce se vor aduce valorilor aferente originalului pe baza rezultatelor obținute în studiul modelului.

## 1. CONDIȚII ȘI SCARI DE SIMILITUDINE

1.1. După [1]), stările de deformație și de tensiune apărute în model se pot transpune pe construcția reală, în cazul în care forțele aplicate de același tip produc efecte relativ egale, cu condiția păstrării în timp a similitudinii geometrice impuse inițial. Valabiltiatea legilor de similitudine cere ca procesele și stările din construcția reală și din model să fie exprimate prin ecuații de bază identice și să aibă neapărat aceleași condiții de margine. Datorită acestor condiții rezultă că toate mărimile adimensionale referitoare la model trebuie să fie numeric egale cu mărimile adimensionale corespunzătoare, scrise pentru construcția reală.

În cazul analizei tensiunilor produse de sarcini statice pe modele [1], se introduc relațiile pentru scările de bază ale similitudinii, conform tabelei 1.

Dificultățile de realizare a modelului nu permit în general să fie satisfăcute toate condițiile de scară prezentate în tabela 1. În asemenea cazuri se pot folosi rezultatele obținute pe modele, cu luarea în considerație a acestor particularități.

În cazul modelelor construite din elemente mici, se impune o analiză a erorilor relative la stabilirea scării deduse de tensiune, în ipoteza $E_S = E_M/E_R = 1$, cum se întîmplă adeseori.

Se știe că această mărime este

— în cazul întinderii

$$\sigma_S = \frac{\sigma_M}{\sigma_R} = F_S l^{-2} = \frac{F_M}{F_R} \cdot \frac{D_R^2}{D_M^2}, \tag{1}$$

— în cazul încovoierii

$$\sigma_S = \frac{\sigma_M}{\sigma_R} = F_S \cdot l^{-2} = \frac{F_M}{F_R} \cdot \frac{l_M}{l_R} \cdot \frac{D_R^3}{D_M^3}, \tag{2}$$

S-a presupus, pentru simplificare, că atît modelul cît și originalul sînt construite din elemente de secțiune circulară de diametru $D_M$, respectiv $D_R$.

Presupunînd că eroarea absolută de măsurare a lungimilor la model, ca și la original, este aceeași $\Delta l$, iar eroarea absolută de determinare a forței este $\Delta F$, se poate scrie eroarea relativă a scării de tensiune după [9],

— pentru întindere:

$$\frac{\Delta\sigma_S}{\sigma_S} = \left(\frac{1}{F_M} + \frac{1}{F_R}\right)\Delta F + 2\left(\frac{1}{D_R} + \frac{1}{D_M}\right)\Delta l, \tag{3}$$

*Tabela 1*

**Scări de similitudine**

| Nr. crt. | Relația dintre mărimile | Natura similitudinii | Relația scării de similitudine | Observații |
|---|---|---|---|---|
| | | *Scările de bază* | | |
| 1 | Lungime | geometrică | $l_S = l_M / l_R$ | Mărimile cu indice M se referă la model, iar cele cu indice R la construcția reală |
| 2 | Deplasare | geometrică | $\Delta l_S = \Delta l_M / \Delta l_R = l_S$ | |
| 3 | Forță | de forțe statice | $F_S = F_M / F_R$ | |
| 4 | Variația de forță | de forțe statice | $\Delta F_S = \Delta F_R / \Delta F_R = F_S$ | |
| | | *Scările caracteristice de material* | | |
| 5 | Greutate specifică | de material | $\gamma_S = \gamma_M / \gamma_R$ | |
| 6 | Modul de elasticitate | de material | $E_S = E_M / E_R$ | |
| | | *Scările deduse* | | |
| 7 | Arie | geometrică | $A_S = A_M / A_R = l_S^2$ | |
| 8 | Moment de inerție pentru suprafețe | geometrică | $I_S = I_M / I_H = l_S^4$ | |
| 9 | Modul de rezistență | geometrică | $W_S = W_M / W_R = l_S^3$ | |
| 10 | Momente încovoietoare sau de răsucire | de momente | $M_S = M_M / M_R = F_S \cdot l_S$ | |
| 11 | Eforturi unitare | de tensiune | $\sigma_S = \sigma_M / \sigma_S = F_R \cdot l_S^{-2}$ | |
| 21 | Deformații specifice | geometrică | $\frac{\Delta l_M}{l_M} = \frac{\Delta l_R}{l_R} = \varepsilon_M = \varepsilon_R;$ $\varepsilon_S = 1$ | |

— pentru încovoiere :

$$\frac{\Delta\sigma_S}{\sigma_S} = \left(\frac{1}{F_M} + \frac{1}{F_R}\right)\Delta F + \left(\frac{1}{l_M} + \frac{1}{l_R} + \frac{3}{D_M} + \frac{3}{D_R}\right)\Delta l. \qquad (4)$$

În cazul cînd erorile de măsurare a mărimilor sînt altele la model și la original, se vor introduce în mod diferențiat.

În ambele cazuri se poate deduce însă din relațiile (3) și (4) că, pe măsură ce scad mărimile aferente modelului ($F_M$, $l_M$, $D_M$), eroarea relativă a valorii scării deduse de tensiune $\sigma_S$, devine tot mai mare.

La alegerea dimensiunilor modelului se va examina deci limita inferioară a dimensiunilor modelului, respectiv a sarcinilor față de eroarea absolută de măsurare, pentru a nu introduce erori prea mari în stabilirea scării de tensiune.

1.2. Dacă condiția de mai sus nu conduce la o limită inferioară admisibilă obligatorie, limitele valabilității ipotezelor din teoria elasticității, care stau la baza relațiilor de calcul al tensiunilor, impun o limită inferioară a dimensiunilor elementelor din care se construiește modelul. În teoria elasticității se admite ipoteza omogenității și izotropiei materialului, fără o restricție asupra dimensiunilor volumului mediului elastic.

Această ipoteză nu corespunde în cazul oțelului, deoarece structura este cristalină și în masa materialului se formează așa numitele cristalite (grăunți). După axele acestor cristalite, comportarea lor este foarte diferită. S-a arătat pe monocristale din fier Armco [2] că valoarea modulului de elasticitate E, după cele două axe ale cristalului, are valoarea de $E_1 = 13\,500$ kgf/mm², respectiv $E_2 = 29\,000$ kgf/mm². Pentru valoarea medie pe mai multe cristalite orientate oarecum față de direcția de întindere se obține valoarea cunoscută $E = 21\,000$ kgf/mm², care intră ca o valoare constantă în ecuațiile diferențiate ale teoriei elasticității. De aici rezultă că ipotezele folosite la deducerea relațiilor din teoria clasică a elasticității nu mai sînt valabile în cazul corpurilor cu dimensiuni foarte mici. Eforturile specifice calculate cu aceste relații reprezintă valori medii pe o suprafață nu prea mică. Valoarea minimă a acestei suprafețe rezultă din condiția ca valoarea medie a modulelor de elasticitate E, luată pentru toate cristalitele suprafeței în direcția întinderii să aibă, de exemplu, aproximativ valoarea cunoscută $E = 21\,000$ kgf/mm². Din aceste considerente decurge necesitatea introducerii unei noi constante elastice, de dimensiunea unei lungimi, ca o mărime caracteristică pentru fiecare material în parte.

L. Föppl și K. Huber au încercat să determine experimental această nouă caracteristică elastică pentru oțel, prin încercări de compresiune de contact între o suprafață plană și role cilindrice de raze diferite și prin încercări de întindere la plăci de oțel prevăzute cu găuri de raze cuprinse între 0,9—9,75 mm (concentratori) [2]. În baza acestor cercetări experimentale, ei indică drept valoare pentru această constantă elastică, în cazul oțelului, $f = 2{,}2$ mm.

De asemenea rezultatele încercărilor pe epruvete mici [3] arată o dependență a caracteristicilor de rezistență de dimensiunile epruvetei.

Față de aceste rezultate și altele, recomandarea ISO/R 82 indică diametrul minim al microepruvetelor de 3 mm. Deci dimensiunea minimă a elementelor componente dintr-un model pe care se fac cercetări de tensiuni și deformații este de 3 mm în cazul utilizării oțelului.

## 2. METODA DE MĂSURARE A DEFORMAȚIILOR

Limitarea inferioară a dimensiunilor elementelor la 3 mm ridică o altă problemă : alegerea extensometrului.

2.1. Metodele optice pentru măsurarea deformațiilor specifice nu se pot aplica din considerente de ordin tehnic, cu toate avantajele lor de sensibilitate și de precizie.

2.2. Metodele mecanice obișnuite, folosind extensometrul Cambridge, cu coardă sau Huggenberger, nu se pot aplica, avînd în vedere dimensiunile transversale mici ale elementelor, baza relativ mare a tensometrelor și curbura elementelor. Prin măsurarea pe elemente curbe a deformației cu astfel de tensometre, se introduce o eroare mare de măsurare, care se determină în funcție de lungimea fibrei măsurate și de variația razei de curbură, din relația (5); (vezi [4] și Fig. 1)

$$\Delta\varepsilon = \frac{a_2 - a_1}{l} = \frac{l^2}{24}\left(\frac{1}{R_1^2} - \frac{1}{R_2^2}\right). \qquad (5)$$

Din (5) rezultă că eroarea este direct proporțională cu pătratul bazei de măsurare.

2.3. Extensometrele mecanice speciale cu baza mică de măsurare, Johansson, Abramson etc. sau pneumatice, după de Leiris, nu pot fi aplicate, avînd în vedere dificultățile de montaj și dificultatea măsurării simultane într-un număr mare de secțiuni.

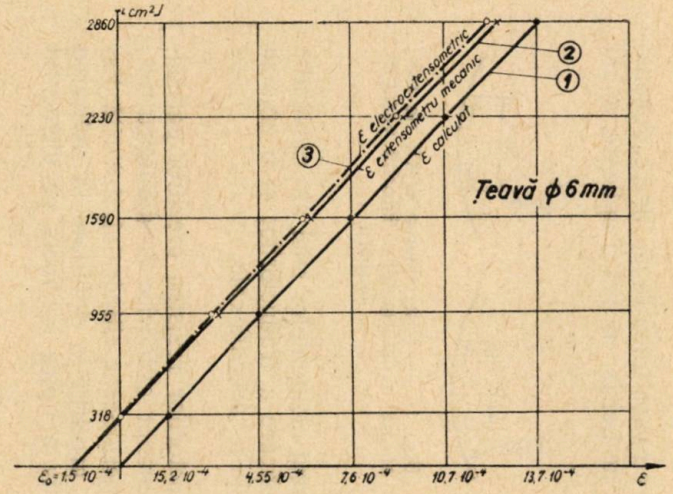
Fig. 1. — Determinarea erorii de măsurare a deformațiilor datorită variației curburii

2.4. Extensometria electrică prezintă o serie de calități care o fac indicată pentru măsurarea deformațiilor specifice ale elementelor de dimensiuni mici.

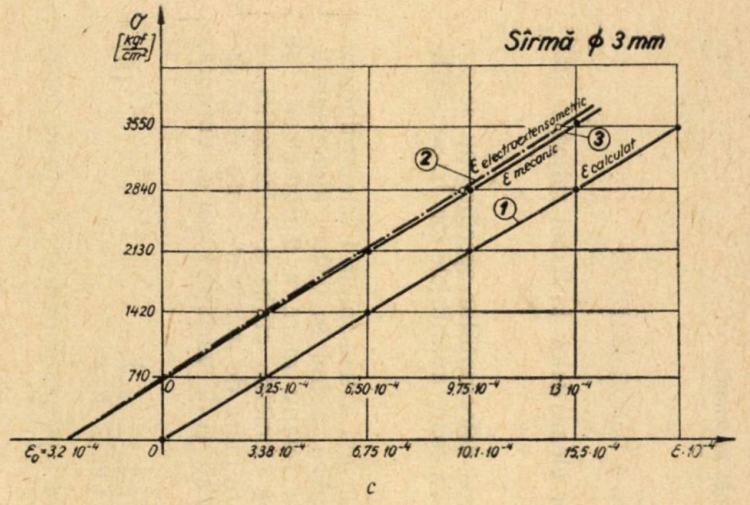
Extensometria electrică folosită în cazul elementelor mici ale modelului necesită însă o tehnologie specială de aplicare a traductorilor și o analiză a erorilor cu care se determină deformațiile pe această cale.

*2.4.1.* Tehnologia de aplicare a traductorilor rezistivi prezintă particularități demne de relevat, în cazul elementelor cilindrice de diametru mic.

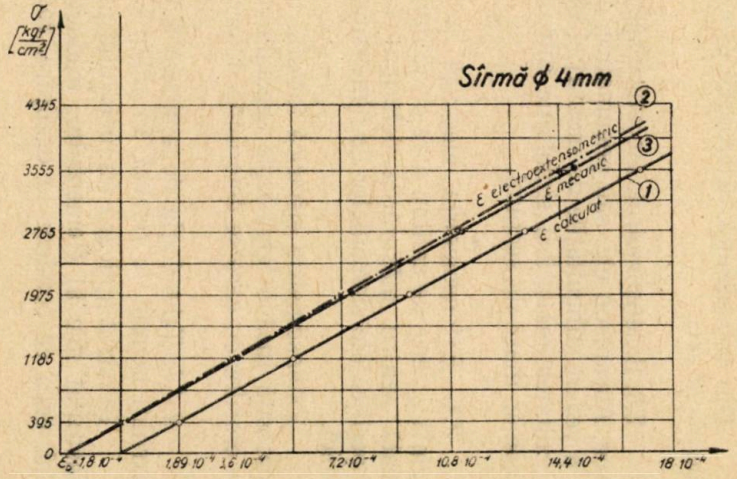
În cazul aplicării traductorului pe generatoarea cilindrului, datorită diametrului mic al elementului, traductorul prezintă o rigiditate la aplicarea lui, ceea ce conduce la dezlipire, respectiv o lipire incorectă pe elementul




a




c




b

Fig. 2. Reprezentarea grafică a valorilor experimentale obținute prin extensometrie mecanică și electrică :
a — țeavă de ∅ 6/4 mm; b — sîrmă de ∅ 4 mm; c — sîrmă de ∅ 3 mm

explorat. Pentru a elimina acest inconvenient se recomandă utilizarea unor cleme speciale, cu un profil de apăsare avînd raza apropiată de a cilindrului, pe care se aplică traductorul. Este indicat o predeformare a traductorului și apoi o verificare a sa, deoarece, în cazul unui element foarte subțire, la îndoirea traductorului firul de constantan se poate rupe.

Examinînd eficacitatea clemelor de apăsare s-au făcut măsurători de deformații cu un tensometru mecanic, respectiv traductori rezistivi, pe elemente de diferite dimensiuni (*Fig. 2*).

Admițînd valorile deformațiilor specifice măsurate cu extensometrul mecanic ca bază de referire, s-au obținut următoarele erori la valorile date de extensometria electrică: la sîrme $\phi$ 3 mm 2,7%, la sîrme $\phi$ 4 mm și țevi $\phi$ 6/4 mm — 2,6%.

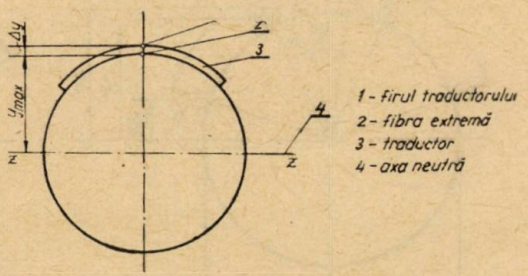



Fig. 3. — Amplasarea traductorului rezistiv la un element de secțiune circulară

Aceste rezultate s-au obținut în condițiile unei rezistențe de contact între traductor și element de circa 5 000 MΩ și o protejare cu stearină a traductorului, împotriva umidității, folosind traductori cu baza de 4 mm.

*2.4.2.* Analiza erorilor la măsurători electroextensometrice pe elemente de dimensiuni mici.

*a) Eroarea datorită curburii elementului în planul transversal.* La elementele de secțiune circulară constantă la încovoiere de un moment considerat constant pe lungimea traductorului, o sursă de erori sistematice este poziția diferită a sîrmelor din traductor față de axa neutră a elementului. Rezultatele măsurătorilor în cazul încovoierii sînt considerate ca deformații specifice ale fibrei extreme deși nu toate sîrmele traductorului sînt situate la o distanță egală de axa neutră, corespunzătoare cu poziția fibrei extreme.

Pentru evaluarea erorilor sistematice introduse prin aceasta, s-a stabilit o metodă de calcul care în cele ce urmează se dezvoltă pentru cazul traductorului obișnuit (*Fig. 4 a*) și pentru cazul particular al unui traductor cu un număr impar de fire (*Fig. 4 b*).

Se introduc următoarele notații:

a — diametrul elementului;
b — distanța dintre firele extreme ale traductorului;
c — distanța dintre două fire vecine ale traductorului;
1′ — baza de măsurare a traductorului.

Din figurile 4 a și 4 b rezultă

$$c = \frac{b}{n-1} \tag{6}$$

$$\Delta\alpha = \frac{2c}{d} = \frac{2b}{(n-1)\,d}. \tag{7}$$

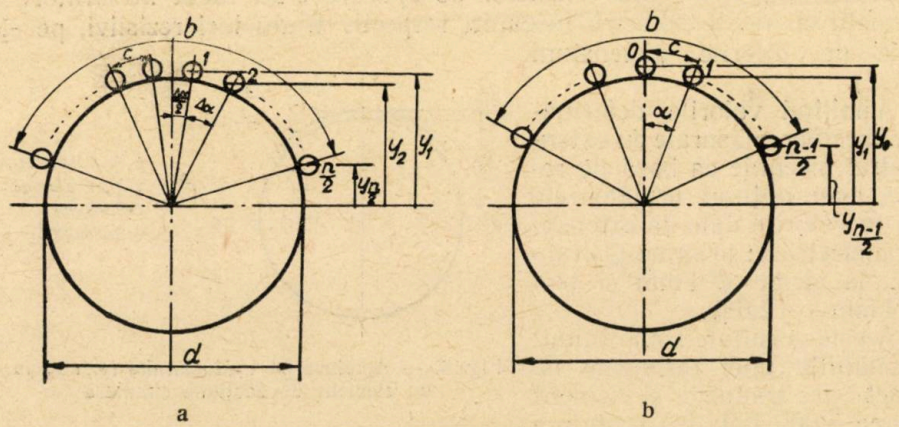



Fig. 4. — Amplasarea firelor traductorului pe un element de secțiune circulară :
**a — traductor obișnuit; b — traductor cu un număr impar de fire.**

Pentru figura 4 a :

$$\left.\begin{aligned} y_1 &= \frac{d}{2}\cos\left(\frac{1}{2}\Delta\alpha\right)\\ &\vdots\\ y_i &= \frac{d}{2}\cos\left(\frac{2i-1}{2}\Delta\alpha\right)\\ &\vdots\\ y_{\frac{n}{2}} &= \frac{d}{2}\cos\left(\frac{n-1}{2}\Delta\alpha\right) \end{aligned}\right\} \tag{8 a}$$

Pentru figura 4 b :

$$\left.\begin{aligned} y_0 = y_{max} &= \frac{d}{2}\\ y_1 &= \frac{d}{2}\cos(\Delta\alpha)\\ &\vdots\\ y_i &= \frac{d}{2}\cos(i\,\Delta\alpha)\\ &\vdots\\ y_{\frac{n-1}{2}} &= \frac{d}{2}\cos\left(\frac{n-1}{2}\Delta\alpha\right) \end{aligned}\right\} \tag{8 b}$$

Avînd lungimea bazei traductorului l, se poate determina alungirea specifică a fibrelor corespunzătoare fiecărei poziții a firului rezistiv față de axa neutră și, deci

$$\frac{\Delta l_i'}{l_i'} = \varepsilon_i . \tag{9}$$

Aplicînd legea lui Hooke și formula lui Navier, rezultă :

$$\varepsilon_i = \frac{M_i}{EI_e} y_i , \tag{10}$$

unde $I_e$ este momentul de inerție axial al secțiunii elementului.

Deoarece E, $M_i$ și $I_e$ sînt constante pe secțiune, se notează $C_1 = \frac{M_i}{EI_n}$ și, utilizînd relațiile (8 a) și (8 b) rezultă :

$$\varepsilon_i = c_1 \frac{d}{2} \cos\left(\frac{2i-1}{2} \Delta\alpha\right), \tag{11 a}$$

$$\varepsilon_i = c_1 \frac{d}{2} \cos(i\,\Delta\alpha). \tag{11 b}$$

Prin introducerea factorului de sensibilitate a traductorului, exprimat pentru fiecare fir în parte, rezultă

$$k = \frac{\frac{\Delta R_i'}{R'}}{\frac{\Delta l_i}{l}} = \frac{\frac{\Delta R_i'}{R'}}{\varepsilon_i}, \tag{12}$$

de unde

$$\varepsilon_i = \frac{\Delta R_i'}{R'k}, \tag{13}$$

în care :

R' este rezistența unui fir al traductorului ;
ΔR' — variația rezistenței firului ;
k — factorul de sensibilitate al firului, respectiv al traductorului.

Din (13) rezultă variația rezistenței fiecărui fir al traductorului în parte și utilizînd relațiile (11 a) și (11 b) se obține :

$$\Delta R' = kR'c_1 \frac{d}{2} \cos\left(\frac{2i-1}{2} \Delta\alpha\right), \tag{14 a}$$

$$\Delta R'' = kR'c_1 \frac{d}{2} \cos(i\,\Delta\alpha). \tag{14 b}$$

Variația totală a rezistenței traductorului $\Delta R = \Sigma \Delta R'$ va fi deci:

$$\Delta R = kR'c_1 \frac{d}{2}\left[2\sum_{i=1}^{i=\frac{n}{2}} \cos\left(\frac{2i-1}{2}\Delta\alpha\right)\right], \tag{15 a}$$

$$\Delta R = kR'c_1 \frac{d}{2}\left[1+2\sum_{i=1}^{i=\frac{n-1}{2}} \cos(i\Delta\alpha)\right]. \tag{15 b}$$

Deoarece $R = nR'$ se obține:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{kc_1 d}{2n}\left[2\sum_{i=1}^{i=\frac{n}{2}} \cos\left(\frac{2i-1}{2}\Delta\alpha\right)\right], \tag{16 a}$$

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{kc_1 d}{2n}\left[1+2\sum_{i=1}^{i=\frac{n-1}{2}} \cos(i\Delta\alpha)\right]. \tag{16 b}$$

Pentru traductorul rezistiv fiind valabilă relația: $\varepsilon = \frac{\Delta R}{R \cdot K}$, rezultă că deformația specifică medie măsurată cu acest traductor va fi

$$\varepsilon_{exp} = \frac{c_1 d}{2n}\left[2\sum_{i=1}^{i=\frac{n}{2}} \cos\left(\frac{2i-1}{2}\Delta\alpha\right)\right], \tag{17 a}$$

$$\varepsilon_{exp} = \frac{c_1 d}{2n}\left[1+2\sum_{i=1}^{i=\frac{n-1}{2}} \cos(i\Delta\alpha)\right]. \tag{17 b}$$

Notînd valoarea deformației specifice a fibrei extreme cu $\varepsilon_{max}$, se obține

$$\varepsilon_{max} = \frac{M_i}{EI_e} \cdot \frac{d}{2} = c_1 \frac{d}{2}, \tag{18}$$

Înlocuind (18) și (7) în relațiile (17 a) și (17 b) rezultă

$$\begin{cases} \varepsilon_{exp} = \dfrac{\varepsilon_{max}}{n}\left\{2\sum_{i=1}^{i=\frac{n}{2}} \cos\left[(2i-1)\dfrac{b}{(n-1)\,d}\right]\right\}, & (19\,a) \\ \varepsilon_{exp} = \dfrac{\varepsilon_{max}}{n}\left\{1+2\sum_{i=1}^{i=\frac{n-1}{2}} \cos\left[(2i)\dfrac{b}{(n-1)\,d}\right]\right\}, & (19\,b) \end{cases}$$

Eroarea sistematică a valorii măsurate pentru deformația specifică față de cea calculată pentru fibra extremă ($\varepsilon_{max}$) va fi

$$\eta_1\,\%_0 = \frac{\varepsilon_{max} - \varepsilon_{exp}}{\varepsilon_{max}}, \qquad (20)$$

obținînd în final expresiile :

$$\begin{cases} \eta_1\%_0 = \dfrac{n-2\sum_{i=1}^{i=\frac{n}{2}} \cos\left[(2i-1)\dfrac{b}{(n-1)\,d}\right]}{n}\cdot 100\%_0, & (21\,a) \\ \eta_1\%_0 = \dfrac{(n-1)-2\sum_{i=1}^{i=\frac{n-1}{2}} \cos\left[2i\dfrac{b}{(n-1)\,d}\right]}{n}\cdot 100\%_0. & (21\,b) \end{cases}$$

Pe baza acestor relații se poate construi cîte o nomogramă, alegînd ca variabile raportul $\lambda = \frac{b}{d}$ și eroarea în procente $\eta_1\%$. În planul $\lambda - \eta_1$ se trasează curbele considerînd ca parametru numărul de sîrme din traductor (n) (vezi Fig. 5).

Avînd erorile sistematice $\eta_1\%$ din nomograme și folosind (20), se obține

$$\varepsilon_{max} = \frac{\varepsilon_{exp}\cdot 100}{100-\eta_1\%} \qquad (22)$$

care reprezintă valoarea deformației specifice corectate pentru fibra extremă. Efortul unitar corectat din această fibră va fi deci :

$$\sigma_{max} = \varepsilon_{exp}\cdot E\cdot\frac{100}{100-\eta_1\%_0}. \qquad (23)$$

Pentru cazuri în care nu se mai poate considera momentul încovoietor constant pe toată lungimea traductorului, se poate introduce un factor de

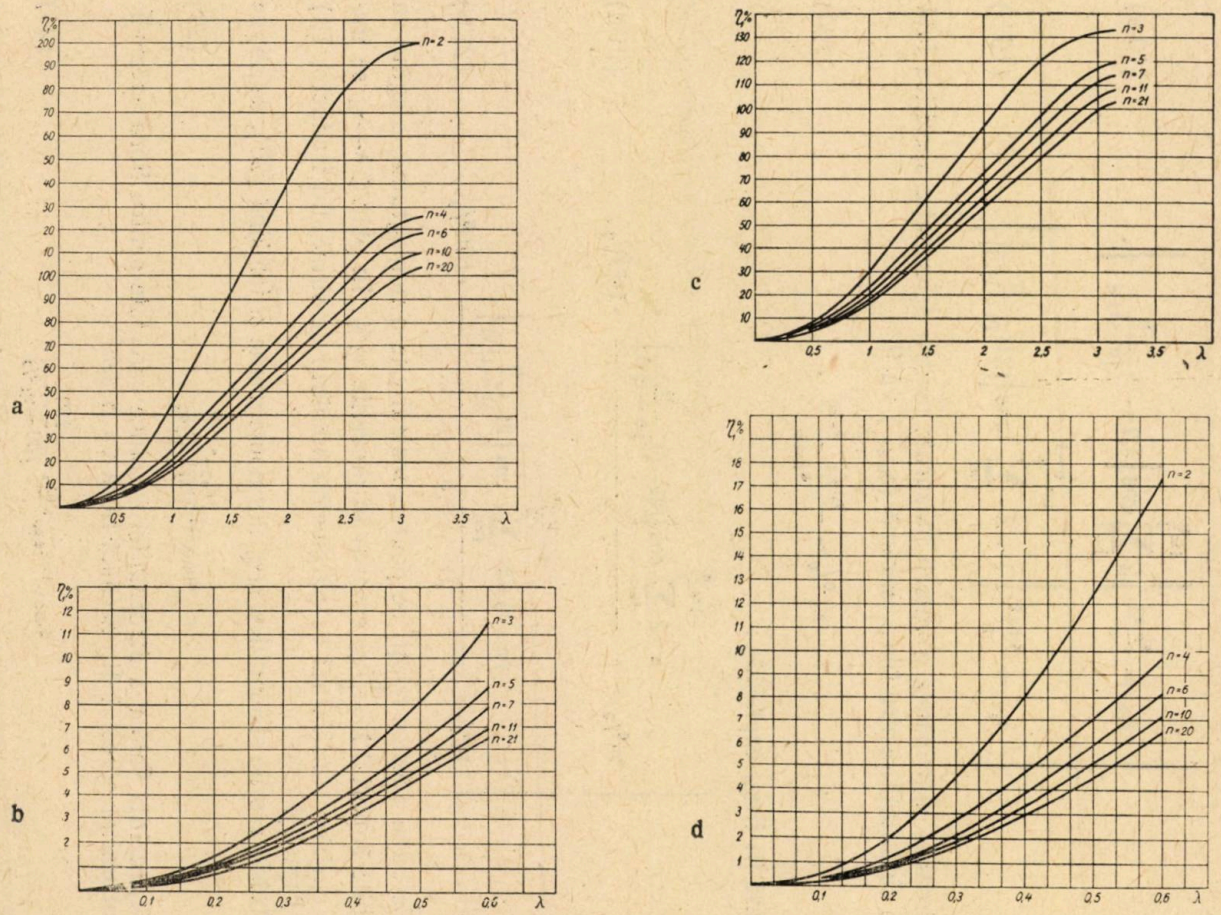



Fig. 5. — Diagrama de determinare a erorii sistematice $\eta_1\%$ :
a ; b — traductor obișnuit; c ; d — traductor cu un număr impar de fire.

corecție care afectează factorul de sensibilitate al traductorului. Această problemă este tratată în lucrarea [5].

*b*) *Eroarea datorită grosimii stratului de adeziv.* Influența grosimii stratului de adeziv, hîrtie sau strat epoxietilenic în cazul elementelor cu dimensiuni transversale mici solicitate la încovoiere poate avea o influență apreciabilă.

Avînd expresia $\sigma_{max}=\frac{M_i}{I_z}y_{max}$ pentru tensiunea reală din fibra extremă (*Fig. 4*), valoarea indicată de instrumentul de măsură prin intermediul traductorului rezistiv va fi

$$\sigma'_{max}=\frac{M_i}{J_z}y_{max}+\frac{M_i}{J_z}\Delta y=\sigma_{max}+\Delta\sigma_{max} \tag{24}$$

în care $\Delta y$ este grosimea stratului considerat.

Deci

$$\Delta\sigma_{max}=\frac{M_i}{J_z}\Delta y. \tag{25}$$

Eroarea rezultată datorită grosimii stratului $\Delta y$ va fi

$$\eta_2{}^0/_0=+\frac{\Delta\sigma_{max}}{\sigma_{max}}\cdot 100=+\frac{\Delta y}{y_{max}}\cdot 100. \tag{26}$$

Avînd în vedere că în cazurile obișnuite $\Delta y\cong 5\cdot 10^{-2}$ mm și că distanța la fibra extremă în cazul elementelor cu dimensiuni minime $y_{max}=1{,}5$ mm, eroarea maximă $\eta_{2\,max}=3{,}3\,\%$.

În cazul traductorilor mai puțin pretențioși din punctul de vedere al execuției lor și al tehnologiei de aplicare folosite, grosimea stratului poate deveni $\Delta y\cong 0{,}1$ mm. În acest caz, eroarea maximă atinge valoarea $y_{2\,max}\cong 6{,}66\,\%$.

În afară de influența grosimii stratului de adeziv tratat sub altă formă și în lucrarea [5], la măsurătorile cu traductori rezistivi mai apare influența cedării adezivului în timpul solicitării piesei, datorită modulelor de elasticitate diferite ale piesei, adezivului și sîrmei traductorului. Cantitativ influența acestei cedări depinde de mai mulți factori, ca temperatura, umiditatea ș. a. Aceste fenomene și influența lor asupra factorului de sensibilitate al traductorului sînt tratate amănunțit în [6].

*c*) *Eroarea de măsurare în cazul aplicării traductorului înclinat față de axa longitudinală la întinderea pieselor cilindrice și încovoierea pieselor de secțiune dreptunghiulară în jurul unei axe principale.* Calculul se face cu

neglijarea variației unghiului β, ea fiind foarte mică. Importanța așezării corecte a traductorului și influența erorii unghiulare pentru cazul particular tratat la acest punct este arătată și în lucrările [7] și [8].

Deformația specifică după direcția de așezare a traductorului va fi

$$\varepsilon_\beta = \varepsilon_x \cos^2 \beta, \tag{27}$$

în care :

$\varepsilon_\beta$ este alungirea specifică în direcția traductorului ;
$\varepsilon_x$ — alungirea specifică în direcția axei x ;
$\beta$ — eroarea unghiulară de așezare.

Eroarea de măsurare introdusă de această abatere unghiulară se poate exprima după cum urmează :

$$\eta_\beta\,\% = \frac{\varepsilon_x - \varepsilon_\beta}{\varepsilon_x}\,100\,\%, \tag{28}$$

sau

$$\eta_\beta\,\% = \frac{\varepsilon_x(1-\cos^2\beta)}{\varepsilon_x}\cdot 100 = (\sin^2\beta)\cdot 100\,\%. \tag{29}$$

Pe baza acestei relații s-a construit diagrama de variație a erorii $\eta_\beta\,\%$ funcție de abaterea unghiulară β (*fig. 6*).

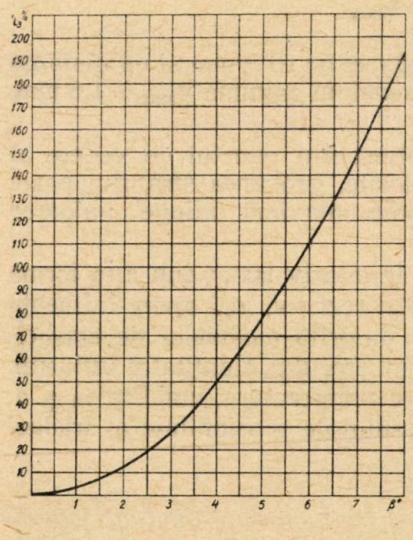



Fig. 6. — Eroarea de măsurare $\eta_\beta\,\%$ în funcție de unghiul de înclinare β

*d) Eroarea de măsurare la montarea înclinată a traductorilor față de axa longitudinală a piesei (cu unghiul de înclinare β) în cazul încovoierii pieselor cilindirce de secțiune transversală circulară.* Raționamentul se va face pentru un fir al traductorului, care, în cazul montării cu abaterea unghiulară zero ($\beta = 0$), s-ar situa tocmai pe fibra extremă a piesei, deoarece determinarea erorilor pentru cazul în care fibrele nu sînt așezate pe fibra extremă, însă sînt paralele cu ea, a fost rezolvată la punctul *a*.

În această ipoteză se pot ivi două poziții caracteristice a firului mediu din traductor :

— cînd firul este înclinat cu unghiul β și se situează simetric față de fibra extremă (*fig. 7 a*);

— cînd firul este înclinat cu unghiul β și se situează de o singură parte a fibrei extreme (*fig. 7 b*).

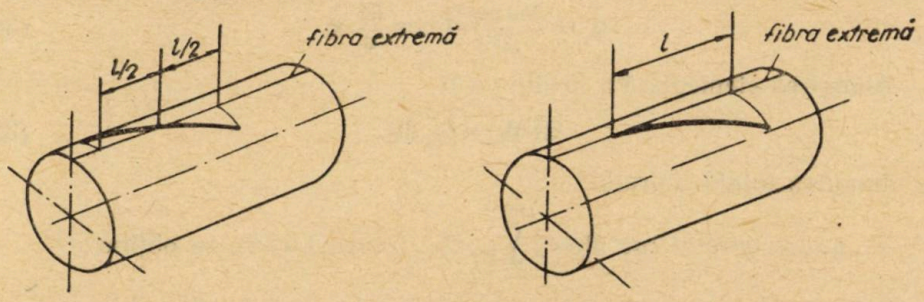



Fig. 7. — Amplasarea traductorului înclinat față de axa piesei în cazul secțiunilor circulare: a — firul înclinat situat simetric față de fibra extremă; b — firul înclinat situat de o singură parte a fibrei extreme.

Pentru ambele cazuri este utilă introducerea următoarelor notații (*fig. 8*):

- x — abscisa punctului curent;
- l — proiecția lungimii traductorului pe axa x;
- $l'_\beta$ — lungimea traductorului;
- $\varepsilon_x$ — alungirea specifică în direcția axei x;
- $\varepsilon_{\beta x}$ — alungirea specifică măsurată în direcția traductorului la distanța x;
- β — eroarea unghiulară de așezare a traductorului;
- φ — coordonata unghiulară a punctului curent pe fir.

Pe baza celor arătate la punctul *c* se poate scrie

$$\varepsilon_\beta = \varepsilon_x \cos^2 \beta. \qquad (30)$$

Pe baza relației (10) se poate scrie:

$$\varepsilon_x = \frac{M}{EJ} \frac{d}{2} \cos \varphi \qquad (31)$$

deci:

$$\varepsilon_\beta = \frac{M}{EJ} \frac{d}{2} \cos^2 \beta \cos \varphi. \qquad (32)$$

Între coordonatele x și φ există însă relația:

$$\varphi = \frac{2\beta}{d} x \qquad (33)$$

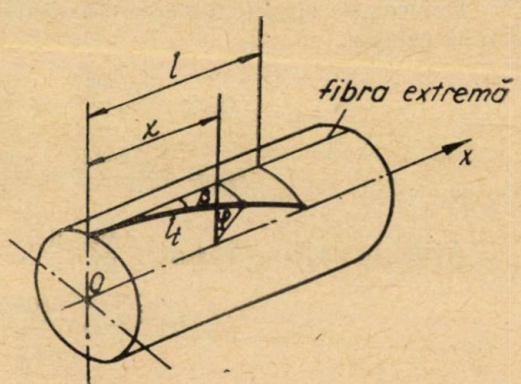



Fig. 8. — Notarea elementelor de calcul în cazul amplasării traductorului înclinat cu unghiul β

în punctul curent de abscisă x, deci

$$\varepsilon_{\beta_x} = \frac{Md\cos^2\beta}{2EJ}\cos\frac{2\beta}{d}x. \tag{34}$$

Alungirea elementară a firului va fi

$$d(\Delta l_\beta) = \beta_{\beta_x}\, dl_\beta, \tag{35}$$

iar alungirea totală a firului

— *pentru primul caz* $\Delta l_\beta = 2\int_0^{1/2} \varepsilon_{\beta x}\, dl_\beta$; folosind (34), se obține:

$$\Delta l_\beta = \frac{Md\cos^2\beta}{EJ}\int_0^{1/2}\cos\frac{2\beta}{d}x\,\frac{dx}{\cos\beta} = \frac{Md\cos\beta}{EJ}\cdot\frac{\sin\left(\frac{2\beta}{d}\cdot\frac{1}{2}\right)}{\frac{2\beta}{d}}$$

sau

$$\Delta l_\beta = \frac{Md^2\cos\beta}{2EJ\beta}\sin\frac{\beta l}{d} \tag{35 a}$$

— *pentru al doilea caz:*

$$\Delta l_\beta = \frac{Md\cos^2\beta}{2EJ}\int_0^{l}\cos\frac{2\beta}{d}x\,\frac{dx}{\cos\beta} = \frac{Md\cos\beta}{2EJ}\cdot\frac{\sin\frac{2\beta}{d}l}{\frac{2\beta}{d}}$$

sau

$$\Delta l_\beta = \frac{Md^2\cos\beta}{4EJ\beta}\sin 2\frac{\beta l}{d}\cdot \tag{35 b}$$

Deformația specifică medie măsurată de acest fir va fi $\varepsilon_{\beta m} = \frac{\Delta l_\beta}{l_\beta}$ sau cu relația

$$\varepsilon_{\beta m} = \frac{\Delta l_{\beta a}\cos\beta}{l} = \frac{Md^2\cos^2\beta}{2EJl\beta}\sin\frac{l\beta}{d} \tag{36 a}$$

$$\varepsilon_{\beta m} = \frac{\Delta l_{\beta b}\cos\beta}{l} = \frac{Md^2\cos^2\beta}{4Ell\beta}\sin 2\frac{l\beta}{d} \tag{36 b}$$

Avînd în vedere că $\varepsilon_{max} = \frac{Mi}{EJ}\frac{d}{2}$, se obține

$$\varepsilon_{\beta m} = \varepsilon_{max}\cdot\frac{\cos^2\beta}{\frac{l\beta}{d}}\sin\frac{l\cdot\beta}{d}, \tag{37 a}$$

$$\varepsilon_{\beta m} = \varepsilon_{max}\cdot\frac{\cos^2\beta}{2\frac{l\beta}{d}}\sin 2\frac{l\beta}{d}\cdot \tag{37 b}$$

Introducîndu-se notația $\frac{l\beta}{d} = \nu$,

$$\frac{\varepsilon_{\beta m}}{\varepsilon_{max}} = \frac{\cos^2\beta}{\nu} \sin\nu, \tag{38 a}$$

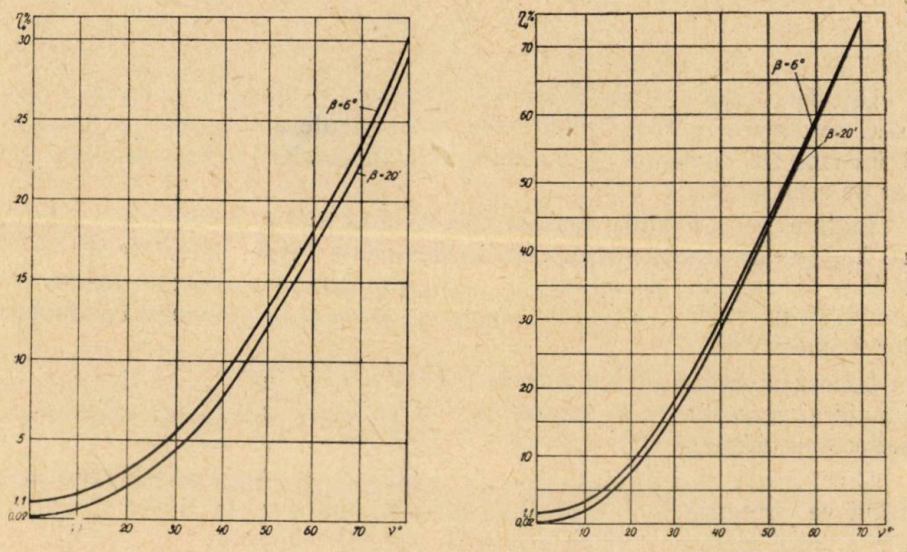
$$\frac{\varepsilon_{\beta m}}{\varepsilon_{max}} = \frac{\cos^2\beta}{2\nu} \sin\ \nu. \tag{38 b}$$

Eroarea de măsurare va fi : $\eta_4{}^0/_0 = \frac{\varepsilon_{max} - \varepsilon_{\beta m}}{\varepsilon_{max}} \cdot 100 = \left(1 - \frac{\varepsilon_{\beta m}}{\varepsilon_{max}}\right) \cdot 100$

$$\eta_4{}^0/_0 = \left(1 - \cos^2\beta \frac{\sin\nu}{\nu}\right) 100, \tag{39 a}$$

$$\eta_4{}^0/_0 = \left(1 - \cos^2\beta \frac{\sin 2\nu}{\nu}\right) 100. \tag{39 b}$$

Pe baza relațiilor (39 a și b) se pot construi nomogramele din *figurile 9 a* și *9 b*.




a b

Fig. 9. — Eroarea de măsurare $\eta_4\%$ în funcție de unghiul de înclinare $\beta$ :
**a — firul înclinat situat simetric față de fibre extreme; b — firul înclinat situat de o singură parte a fibrei extreme.**

Eroarea totală pentru cazul unui traductor aplicat cu o eroare unghiulară de așezare $\beta$ pe un element de secțiune circulară solicitat la încovoiere va fi

$$\eta_{it}\% = \eta_1\% - \eta_2\% + \eta_4\% . \tag{40}$$

În acest caz, valoarea corectată pentru deformația reală a fibrei extreme se obține din relația

$$\varepsilon_{max} = \frac{\varepsilon_{exp} \cdot 100}{100 - \eta_{it}\%} . \tag{41}$$

În cazul solicitării de întindere intervine doar eroarea datorită erorii unghiulare de așezare :

$$\eta_{it}\% = \eta_3\% , \tag{40'}$$

iar

$$\varepsilon_{max} = \frac{\varepsilon_{exp} \cdot 100}{100 - \eta_3\%} . \tag{41'}$$

## 3. CONCLUZII

Din cele expuse se conchide deci că există o limită inferioară a dimensiunii, pe care o pot avea elementele componente ale modelelor, impusă în primul rînd de domeniul de valabilitate a ipotezelor ce stau la baza calculelor de rezistență.

Înainte de a fi atins această dimensiune limită, apar o serie de erori care îngreuiază transpunerea rezultatelor de la model la original, crescînd totodată dificultățile de măsurare a deformațiilor cu ajutorul traductorilor rezistivi prin creșterea erorilor sistematice o dată cu descreșterea dimensiunilor transversale.

Lucrarea expusă atrage atenția asupra principalelor surse de erori, dînd totodată și corecțiile ce se impun în vederea îmbunătățirii rezultatelor ce se transpun la original.

Din lucrare mai rezultă importanța trasării poziției tratuctorilor pe elementul ce urmează a fi exploarat, recomandîndu-se, la rigoare, utilizarea unor aparate pentru verificarea poziției traductorului.

Diagramele de variație a erorilor sînt trasate și pentru parametri mai rar întîlniți în practica analizei experimentale a deformațiilor, dar prezintă o mare importanță pentru cercetător să cunoască domeniul de erori posibile

în funcție de posibilitățile pe care le oferă atît modelul prin dimensiunile sale, cît și aparatajul de control și de măsură pe care îl are la dispoziție, evitîndu-se astfel evaluarea greșită a deformațiilor și tensiunilor măsurate, respectiv transpuse la original.

## BIBLIOGRAFIE

1. K. Fink, C. Rohrbach: (1958): *Handbuch der Spannungs- und Dehnungsmessung*, VDI-Verlag Düsseldorf.
2. L. Föppl, K. Huber (1941): *Der Gültigkeitsbereich der Elastizitätstheorie*. Forschung u. Ingineurwesen, Dez., Bd. **12**.
3. M. Rațiu (1962): Despre încercările mecanice cu apruvete mici. *Conferința de sudură și încercări de metale*, Timișoara.
4. S. D. Ponomariov și colab. (1960): *Calculul de rezistență în construcția de mașini*, vol. I, Ed. tehnică.
5. T. Herlescu (1959): Contribuție la determinarea corecțiilor pentru măsurători electrotensometrice cu timbre pe epruvete în consolă cu secțiuni constante. *Studii și cercetări — Științe tehnice*, Academia R.S. România, Baza Timișoara, 6, *1—2*.
6. Ch. Rohrbach, N. Czaika (1959): Deutung des Mechanismus des Dehnungsmessstreifens und seiner wichtigsten Eigenschaften an Hand eines Modells. *Materialprüfung*, **1**, *4*.
7 Gh. Buzdugan, M. Blumenfeld (1966): *Tensometria electrică rezistivă*. Ed. tehn., București.
8. D. Mocanu și colab. (1966): *Determinarea experimentală a eforturilor unitare*. Edit. transp. și telecom.
9 A. G. Worting, J. Geffner (1959): *Prelucrarea datelor experimentale*, Edit. tehn., București.

# UN NOU CRITERIU DE DETERMINARE A COMPORTĂRII TENACO-FRAGILE A METALELOR

V. SAFTA, A. BERNATH
*Centrul de cercetări tehnice, Timişoara*

In lucrare se prezintă un nou criteriu de determinare a comportării tenaco-fragile a metalelor, cu luarea în considerație a principalilor factori externi — starea de tensiune, viteza de deformare și temperatura — care intervin într-o anumită situație în exploatarea unei piese sau element de construcție.

La baza acestei metode propuse stă teoria tensiunilor stabilită pentru cazul general al stării triaxiale și neomogene în stadiul deformațiilor elastice și elastoplastice.

Metoda preconizată prezintă avantajul de a pune la dispoziția constructorului valoarea critică a coeficientului de concentrare a tensiunii $\alpha$ (respectiv raza minimă de racordare $\rho$) pînă la care pentru un anumit material și o anumită situație practică este asigurată o comportare încă tenace a materialului.

Comportarea tenaco-fragilă a unui metal este definită în principal de trei categorii de factori : factori de natură tehnologică, determinați de compoziția chimică, tratamentul termic, mărimea granulației și prezența hidrogenului, factori legați de condițiile de exploatare, în special temperatura de funcționare și viteza de deformare, și factori de natură constructivă, care definesc starea de tensiune. Cei din prima categorie sînt factori interni, fiind determinați de material, pe cînd cei din celelalte două categorii sînt factori externi și sînt determinați de destinația elementului de construcție considerat.

Metodele inginerești de determinare a susceptibilității la rupere fragilă cunoscute în încercările de metale nu au reușit să cuprindă influența concomitentă a factorilor amintiți, limitîndu-se în majoritatea cazurilor la unul sau la cel mult doi dintre ei. În plus, încercările folosite la evaluarea susceptibilității de rupere fragilă a metalelor nu dau pentru cifrele de rezistență valori numerice utilizabile în calculele de proiectare. În această situație, proiectantul nu poate stabili cu suficientă certitudine valoarea coeficientului de siguranță prin care se elimină pericolul unei ruperi fragile. Evident că un coeficient de siguranță prea mic determină un pericol mare de avarie, iar un coeficient de siguranță prea mare duce la o construcție grea și neeconomică, situații nedorite în practică.

In lucrarea de față se propune un nou criteriu de determinare a stării tenaco-fragile a metalului, cu luarea în considerație a principalilor factori externi — temperatură, viteză de deformare și stare de tensiune — care intervin într-o anumită situație la un material oarecare întrebuințat, deci în cazul unor factori interni determinați. Ea se bazează pe urmărirea stării de trecere de la ruperea tenace (plastică) la ruperea tenaco-fragilă.

În felul acesta se stabilește o legătură între factorii interni (de material) și cei externi (de exploatare și constructivi), care determină în mod complet comportarea tenaco-fragilă a elementului luat în considerație.

### 1. Metode de determinare a susceptibilității la rupere fragilă

Se cunosc astăzi o mulțime de metode propuse pentru determinarea susceptibilității la rupere fragilă. Unele dintre ele, mai frecvent utilizate [1], [2], [3], sînt prezentate în tabela 1.

Din examinarea tabelei se observă că toate metodele se limitează la încercarea unui metal dat (factori interni determinați) în condițiile unor factori externi cu valori determinate sau cînd cel mult unul dintre ei (starea de tensiune, viteza de deformare, temperatura) variază. Cu alte cuvinte, exceptînd metoda propusă de Schnadt [4], nici una nu ține seama de influența concomitentă, complexă a factorilor amintiți asupra comportării metalului. Ca atare, ele nu permit decît o clasificare a metalelor în condițiile concrete, înguste de încercare, neputînd fi utilizate pentru caracterizarea comportării metalului în alte condiții.

Deoarece la metodele descrise condițiile de încercare (starea de tensiune $\alpha$ , viteza de deformare $V$, temperatura $T$), așa cum rezultă din tabela 1, sînt diferite și întrucît la diversele metale analizate acestea determină comportări diferite, prin încercarea unor metale după diferite metode se obține o ordonare din punctul de vedere al comportării tenaco-fragile cu totul diferită [5].

De asemenea, cu mici excepții [4], ele nu au la bază o justificare teoretică, putînd fi considerate doar ca metode empirice de evidențiere calitativă a susceptibilității la rupere fragilă.

### 2. Starea de tensiune în stadiul limită dinaintea ruperii și dificultățile determinării ei

Starea de tensiune într-o piesă supusă unei solicitări exterioare se determină în mod complet prin tensorul tensiunilor, respectiv prin valorile celor trei tensiuni principale, $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$.

Problema determinării stării de tensiune în domeniul elastic pentru diferiți concentratori de tensiune a fost rezolvată de Neuber [6]. Repartiția tensiunilor determinată după metoda preconizată de Neuber, este valabilă pînă la atingerea limitei de deformare plastică.

*Tabela 1*

| Nr. crt. | Denumirea încercării | Caracteristicile încercării | Factori | | Ce se determină |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Constanți | Variabili | |
| 1 | Charpy | Epruv. concentrator, în V sau U, încovoiere prin șoc | $\alpha_k$, V | T | T — de tranziție pentru KCU=3 kgfm/cm² sau pentru rupere 50% tenace etc. |
| 2 | Izod | epruv. concentrator, încovoiere consolă prin șoc | $\alpha_k$, V | T | T — de tranziție pentru o valoare const. a rezilienței sau a aspectului ruperii |
| 3 | Mesnager | epruv. concentrator în U, încovoiere prin șoc | $\alpha_k$, V | T | Idem |
| 4 | Robertson | epruv. cu concentrator cu gradient de T, șoc de inițiere a fisurii și tracțiune transversală | $\alpha_k$, V | $\sigma_{tract.}$ grad T | T — corespunzătoare opririi fisurilor prin def. plast. în funcție de tensiunea transv. |
| 5 | Van der Veen | epruv. cu concentrator în V presat, încovoiere statică | $\alpha_k$, V | T | T — la care se produce o rupere tenace la 3,2 mm adîncime |
| 6 | MIT | epruv. cu concentrator în V, încovoiere statică | $\alpha_k$, | T,v | corelația dintre T și v |
| 7 | Lehigh | epruv. cusăt. sudată și concentrator în V, încovoiere statică | $\alpha_k$, V | T | unghiul de încovoiere, T — de tranziție pentru o anumită contracție, aspectul ruperii=f(T) și energia absorbită=f(T) |
| 8 | Kinzel | ca la Lehigh, concentratorul V modificat | $\mu_k$, V | T | |
| 9 | Drop-weight test | epruv. cu cusătură sudată cu concentrator, încovoiere prin șoc | $\alpha_k$, V | T | T — tranziție pentru un grad dat de dezvoltare a fisurii |
| 10 | Pellini | epruv. cu cusăt. sudată și concentrator, încovoiere prin șoc | $\alpha_k$, V | T | T — tranziție pentru inițierea fisurii în materialul de bază |
| 11 | Schnadt | epruv. cu concentratori diferiți încovoiere prin șoc | V | $\alpha_k$, T | diagrame caracteristice : raportul $\sigma_v/\sigma_1$ în funcție de $\alpha_k$ și T [4] |

*Tabela 1* (continuare)

| Nr. crt. | Denumirea încercării | Caracteristicile încercării | Factori | | Ce se determină |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | constanți | variabili | |
| 12 | Explozii succesive | plăci îmbinate prin sudură fără concentrator | $\alpha_k$, V | T | contracția transv. $\psi$ în locul ruperii și temp. T — pentru care $\psi$ variază cu 1—10% |
| 13 | Matton-Sjöberg | epruvetă cu concentrator încovoiere statică | $\alpha_k$, V | T | T — de tranziție pentru $\psi$ dat |
| 14 | Wide plate test | placă cu concentratori (caneluri interne), tracțiune statică | $\alpha_k$, V | T | energia absorbită, aspectul casurii |
| 15 | Kahn, Imembo | placă cu concentrator tracțiune statică asimetrică | $\alpha_k$, V | T | T — de tranziție din aspectul ruperii (50% rup. tenace) sau din energia absorbită |
| 16 | Rupere clivaj Bagsar | idem, diferă concentratorul | $\alpha_k$, V | T | |
| 17 | Romine | idem, în partea comprimată înserat un ac dur | $\alpha_k$, V | T | idem |
| 18 | Tipper | epruv. cu doi concentr. în V, tracțiune statică | $\alpha_k$, V | T | T — de tranziție din aspectul ruperii (50% rup. tenace) |
| 19 | Navy-Tear-Test | epruv. cu concentrator, tracțiune statică asimetrică | $\alpha_k$, V | T | |
| 20 | Kuntze | epruv. cu concentrator tracțiune, static și șoc | $\alpha_k$, V | (T) | contracția $\psi_{static}$ și $\psi_{din}$, energie, și rezistența la rupere |
| 21 | Rezistența la clivaj Noren | epruv. cu strat sudat, tracțiune statică | $\alpha_k$, V | T | T — la care fisura se amorsează din tens. remanente din sudură |
| 22 | Kommerell | epruv. cu cusătură sudată, încovoiere statică | $\alpha_k$, V | T | — unghiul de îndoire coresp. ruperii sau apariției fisurii. |

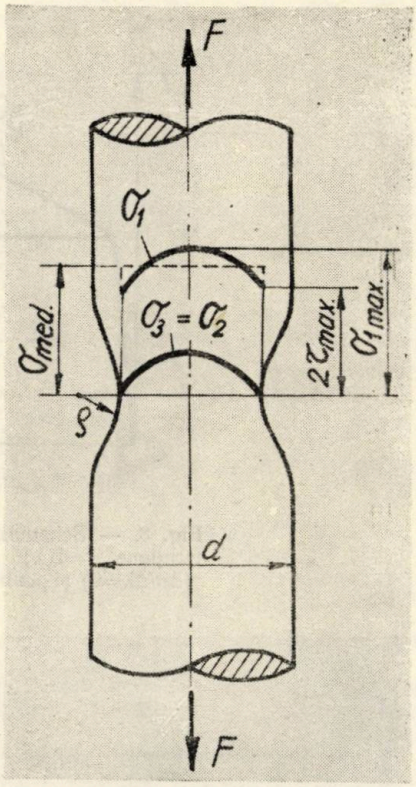



Fig. 1. — Variația tensiunii principale longitudinale $\sigma_1$ în secțiunea minimă, deformată, a epruvetei cilindrice netede supuse la tracțiune

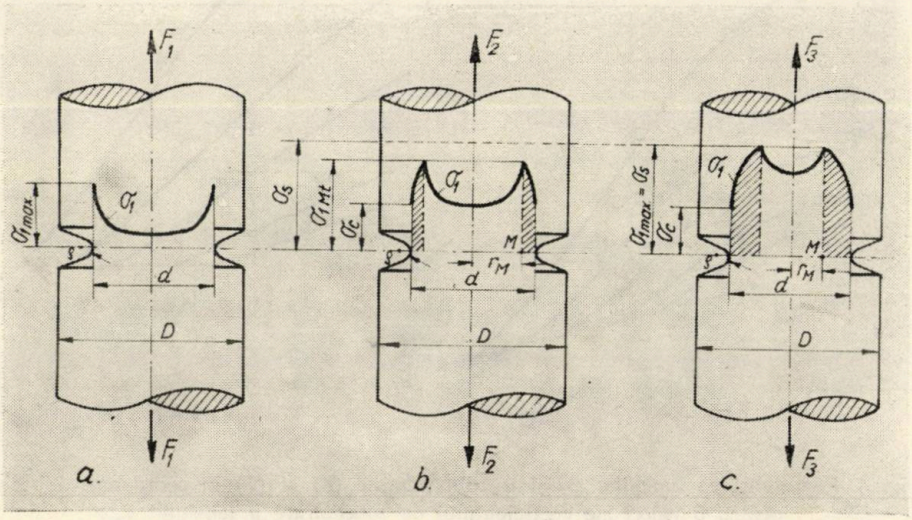



Fig. 2. — Variația tensiunii principale longitudinale $\sigma_1$ în secțiunea minimă a epruvetei cu concentrator de tensiune, în următoarele faze:

**a — în domeniul elastic; b — după depășirea limitei de curgere la suprafața epruvetei; c — în momentul cînd valoarea tensiunii principale longitudinale $\sigma_1$, situată la trecerea din domeniul elastic în cel plastic, atinge valoarea rezistenței la separare $\sigma_s$, producîndu-se ruperea epruvetei.**

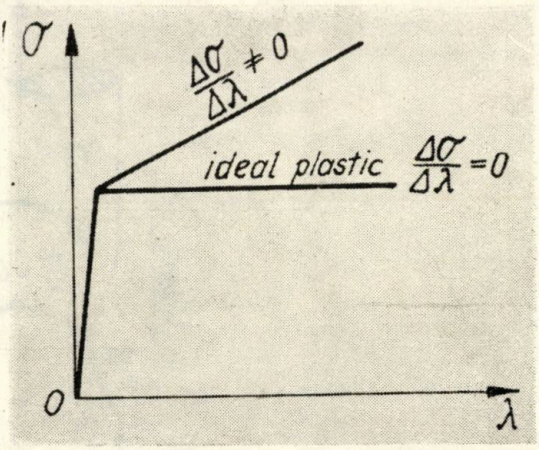



Fig. 3. — Schematizarea curbei caracteristice de tracțiune $\sigma=f(\lambda)$ pentru corpuri ideal plastice ($\Delta\sigma/\Delta\lambda=0$) și pentru metalele tehnice ($\Delta\sigma/\Delta\lambda\neq0$)

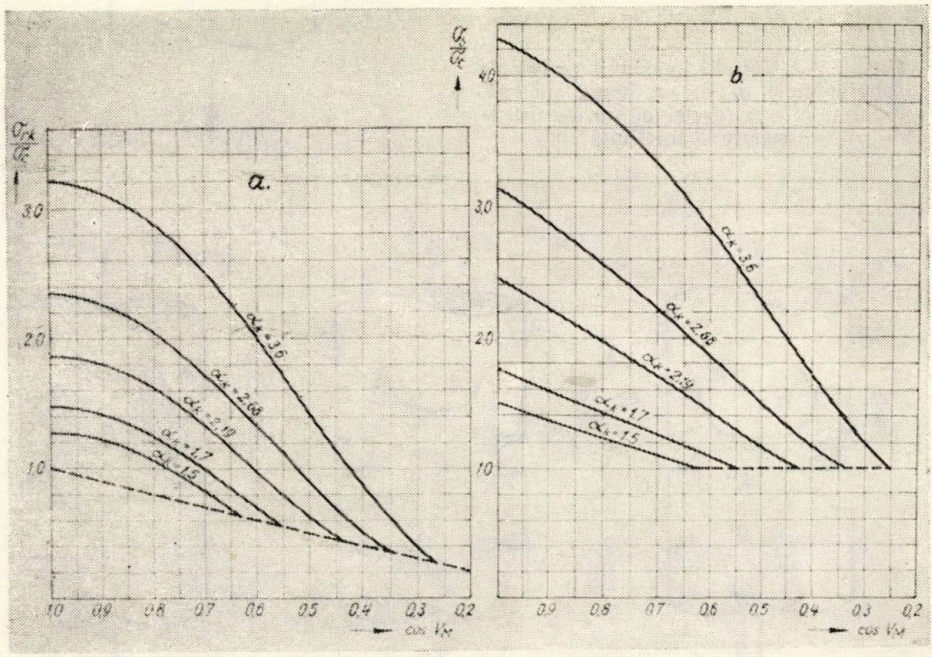



Fig. 4. Reprezentarea funcțiilor $\varphi_1$ și $\varphi_2$ din relațiile (6) și (7) în coordonate hiperbolice pentru 5 valori ale coeficientului de concentrare a tensiunii $\alpha_k$:

a — funcția $\varphi_1$, $\frac{\sigma_{rk}}{\sigma_c}=f(\cos V_M)$; b — funcția $\varphi_2$, $\frac{\sigma_S}{\sigma_c}=f(\cos V_M)$

În cazul mai general al unei stări de solicitare neomogene triaxiale, atingerea stării limită la care începe deformarea plastică este determinată de condiția de plasticitate a lui Saint-Venant:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_c \qquad (1)a$$

sau a lui Mises:

$$\sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1-\sigma_2)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^2+(\sigma_3-\sigma_1)^2]} = \sigma_c \qquad (1)b$$

unde $\sigma_c$ este limita de curgere la tracțiune simplă. Măsurătorile röntgenografice au arătat că primele deformații plastice în secțiunile unor concentratori de tensiune se produc la valori ale tensiunilor principale care satisfac cu o bună aproximație relațiile (1)a sau (1)b [7].

Urmărirea stării de tensiune după depășirea limitei de deformare plastică întîmpină dificultăți serioase, chiar în cazul mai simplu al monocristalelor, datorită faptului că o dată cu producerea deformațiilor plastice se modifică substanțial forma probei (piesei), împreună cu modificarea însăși a limitei de curgere. În cazul policristalelor, la acestea se mai adaugă și modificarea însăși a gradului de izotropie *). De asemenea, prin deformare plastică se schimbă și valoarea rezistenței la separare a metalului [8], astfel încît valoarea rezistenței la separare a unui corp de o formă (stare de tensiune) dată nu este identică cu aceea determinată la un corp de altă formă care a fost supus unui alt grad de deformare pînă la producerea ruperii.

În această ordine de idei trebuie menționat că starea de tensiune în momentul inițierii fisurii și în stadiul final de rupere este complet diferită, motiv pentru care raportul suprafețelor finale, rupte fragil și tenace, considerat drept criteriu de fragilitate la diferite metode de determinare a susceptibilității la rupere fragilă, nu poate fi acceptat pentru caracterizarea gradului de fragilitate a ruperii.

În cazul cel mai general, al unui corp într-o stare de tensiune neomogenă și triaxială, deformarea plastică începe la suprafață, unde sînt satisfăcute mai întîi relațiile (1)a sau (1)b. Cu mărirea solicitării, deformarea plastică pătrunde treptat înspre interior, fiind posibile două cazuri: 1) ruperea să se producă după ce întreaga secțiune a fost deformată plastic, 2) ruperea să se producă înainte ca deformația plastică să se extindă în toată secțiunea.

După prima schemă se produce ruperea epruvetelor netede și a celor cu concentratori de tensiune slabi; după cea de-a doua schemă se produce ruperea epruvetelor cu concentratori de tensiune mai puternici. Cazul relativ mai simplu al determinării stării de tensiune la epruvete cilindrice netede,

*) *Metalele supuse unui tratament de omogenizare a structurii pot fi considerate în starea nedeformată ca izotrope; după o deformare plastică importantă, ipoteza izotropei nu mai poate fi acceptată nici ca o primă aproximație.*

la care înainte de rupere se produce o gîtuire, a fost rezolvat de Siebel [9], [10], Bridgman [11] și Davidenkov și Spiridonova [12]. După acești cercetători, variația tensiunilor principale pe secțiunea epruvetei gîtuite are aspectul din *figura 1*, legile de variație obținute fiind diferite datorită ipotezelor auxiliare utilizate și care au diferit. Trebuie însă remarcat că, în toate cele trei soluții propuse, valoarea maximă a tensiunilor principale $\sigma_{1\,max}$ se produce în axa epruvetei, iar rezistența la deformare $2\tau_{max}=\sigma_1-\sigma_3$ este constantă pe secțiune. Ulterior soluția problemei a fost extinsă și la epruvete netede de secțiune dreptunghiulară [11], [13].

În cazul epruvetelor cu concentratori de tensiune, determinarea stării de tensiune în secțiunea maxim solicitată întîmpină dificultăți din punct de vedere matematic. Ea a fost rezolvată de Ujik [14] pentru cazul cînd deformațiile plastice nu cuprind întreaga secțiune. Problema a fost rezolvată în ipoteza că forma profilului exterior al epruvetei rămîne neschimbată în cursul deformării, ceea ce constituie o bună aproximare pentru cazul unor concentratori destul de punternici. De altfel, la materialele tehnice tenace, numai în cazul unor astfel de concentratori deformarea plastică nu se extinde pe toată secțiunea.

Întrucît se poate admite că valoarea rezistenței la separare nu depinde de starea de tensiune (forma concentratorului) [14] și deoarece la marea majoritate a materialelor tehnice este posibilă obținerea unor concentratori la care ruperea epruvetelor tracționate să se producă în condițiile de mai sus, se poate considera că soluția propusă de Ujik permite în general determinarea rezistenței la separare.

Pentru determinarea rezistenței la separare, denumită de unii și coeziune tehnică, s-au propus și alte metode [15], [16], [17], însă nici una dintre acestea nu se bazează pe o analiză riguroasă a stării de tensiune și, ca atare, nu poate fi considerată ca satisfăcătoare.

### 3. Determinarea rezistenței la separare

Metoda propusă de Ujik pentru determinarea rezistenței la separare [14] are la bază următoarele ipoteze :

— pînă la apariția deformațiilor plastice — atingerea limitei de curgere $\sigma_c$ — pe suprafața epruvetei, în secțiunea maxim solicitată, repartiția tensiunilor principale se determină după teoria elasticității, folosind deducțiile lui Neuber [6] (*fig. 2 a*);

— după depășirea limitei de curgere la suprafața epruvetei deformația plastică pătrunde înspre interior ; în miezul nedeformat plastic, tensiunile principale cresc proporțional, rapoartele dintre ele rămînînd însă constante ; în zona deformată plastic repartiția tensiunilor se modifică în așa fel, încît sînt îndeplinite relațiile (1)a sau (1)b, în care $\sigma_c$ se consideră constant (corpul ideal plastic) (*fig. 2 b*);

— ruperea epruvetei se produce în momentul cînd valoarea maximă a tensiunii principale $\sigma_{1\,max}$, situată la trecerea de la domeniul plastic la cel elastic, depășește valoarea rezistenței la separare $\sigma_S$ (*fig. 2 c*).

Pentru ușurința calculului, ecuațiile sînt scrise în coordonate hiperbolice, pentru suprafața exterioară a epruvetei alegîndu-se un hiperboloid de revoluție, care practic poate fi realizat cu o bună aproximație cu ajutorul unei încrestări în formă de V, avînd raza de racordare $\rho$ și unghiul de deschidere $\alpha$ alese corespunzător [14].

Considerînd punctul M de trecere de la zona deformată elastic la zona deformată plastic, în care valorile tensiunilor principale în momentul atingerii limitei de curgere la suprafața epruvetei sînt $\sigma_{1M}$, $\sigma_{2M}$, $\sigma_{3M}$, pe baza relației (1)a și a ipotezei măririi proporționale a tensiunilor în zona nedeformată plastic, se poate determina valoarea tensiunii principale $\sigma_{1Mt}$ în momentul apariției deformației plastice în acest punct.

$$\sigma_{1\,Mt} = \frac{\sigma_{1M} \cdot \sigma_c}{\sigma_{1M} - \sigma_{3M}}. \tag{2}$$

Din echilibrul forței axiale exterioare F cu tensiunile axiale $\sigma_1$ produse de aceasta, rezultă relația

$$F = \int \sigma_1 ds \tag{3}$$

Prin folosirea sistemului de coordonate hiperbolic și efectuarea calculelor corespunzătoare, în momentul atingerii rezistenței la separare în punctul M ($\sigma_{1Mt} = \sigma_S$) relațiile (2) și (3) pot fi puse sub forma

$$\sigma_S = f_1(\cos V_M) \tag{2}a$$

$$F = f_2(\cos V_M) \tag{3}a$$

unde $\cos V_M$ este coordonata hiperbolică a punctului de trecere M, putînd fi exprimată în funcție de raza r a acestui punct și parametrii profilului exterior adoptat ($\rho$)

$$\cos V_M = \left(1 - \frac{r}{a} \sin^2 V_a\right)^{1/2} \tag{4}$$

$\sin V_a$ fiind coordonata hiperbolică a punctului de pe suprafața profilului (unde r = a).

$$\sin V_a = \left[\frac{(a+\rho)^2 - \rho^2}{(a+\rho)^2}\right]^{1/2} \tag{5}$$

a fiind raza epruvetei în secțiunea minimă, iar $\rho$ raza de curbură a concentratorului în formă de V. Funcțiile $f_1$ și $f_2$ pentru concentratorul în formă de V considerat, depind de parametrii a și $\rho$ ai concentratorului, precum și

de limita de curgere a materialului $\sigma_c$. Relația (3)a permite determinarea coordonatei cos $V_M$ a punctului M în funcție de valoarea forței F în momentul ruperii. Introducînd valoarea lui cos $V_M$ în relația (2)a, se poate determina valoarea rezistenței la separare $\sigma_S$.

Examinînd ipotezele care stau la baza metodei de determinare a rezistenței la separare analizate, rezultă că aceasta permite determinarea riguroasă a tensunii lungitudinale maxime în momentul inițierii primei fisuri, valoare ce poate fi echivalată cu rezistența la separare $\sigma_S$, numai în următoarele condiții:

a) în domeniul elastic este valabilă ipoteza corpului omogen și izotrop utilizată în deducțiile lui Neuber;

b) inițierea deformațiilor plastice în condițiile unei stări de tensiune triaxiale are loc după ipoteza lui Saint-Venant (respectiv Mises);

c) după depășirea limitei de curgere, epruveta se deformează ca un corp ideal plastic (ipoteza lui Prandtl);

d) în cursul deformării plastice pînă la rupere, profilul exterior al epruvetei nu se modifică.

Desigur că aceste condiții, în general, nu sînt riguros respectate. Valabilitatea lor și abaterile pe care le produc în determinarea valorii lui $\sigma_S$ au fost examinate în parte de către Ujik însăși. Asupra lor se pot face următoarele considerații:

**a)** ipoteza corpului omogen și izotrop duce la o bună aproximare la metalele cu o structură suficient de fină în cazurile cînd valoarea coeficientului teoretic de concentrare $\alpha_k < 4$ [7];

**b)** ipoteza lui Saint-Venant a fost verificată prin măsurători röntgenografice [7]. De altfel folosind în locul ipotezei lui Saint-Venant, relația (1)a, pe aceea a lui Mises, relația (1)b, nu se ajunge la diferențe sensibile în determinarea valorii rezistenței la separare $\sigma_S$ [14];

**c)** metalele tehnice nu se comportă ca un corp ideal plastic (fig. 3) manifestînd fenomenul de întărire (ecruisare). Ca urmare, valoarea rezistenței la separare a epruvetei deformate plastic va depinde de valoarea modulului de plasticitate (întărire) $\Delta\sigma/\Delta\lambda$. Întrucît la metale valoarea modulului de plasticitate este sub 1/100 din valoarea modulului de elasticitate [18], s-a arătat că diferențele în valorile lui $\sigma_S$ rezultate prin luarea în considerare a întăririi sînt neglijabile [14]. Această afirmație nu pare a fi confirmată de verificările experimentale efectuate de autori (vezi *fig. 6*), din care rezultă, mai ales în stratul exterior, o modificare sensibilă a orientării granulelor și a microdurității. Influența ecruisării se poate introduce în calculele de determinare ale rezistenței la separare prin considerarea diagramei simplificate (*fig. 3*).

**d)** în urma experiențelor făcute de Ujik rezultă că modificarea profilului epruvetei în sensul deformării este neînsemnată și nu introduce abateri sensibile la determinarea lui $\sigma_S$. Pentru o precizie mai bună, în special la raze de curbură mai mari, se poate folosi în calcule valoarea medie dintre curbura inițială și cea corespunzătoare ruperii epruvetei.

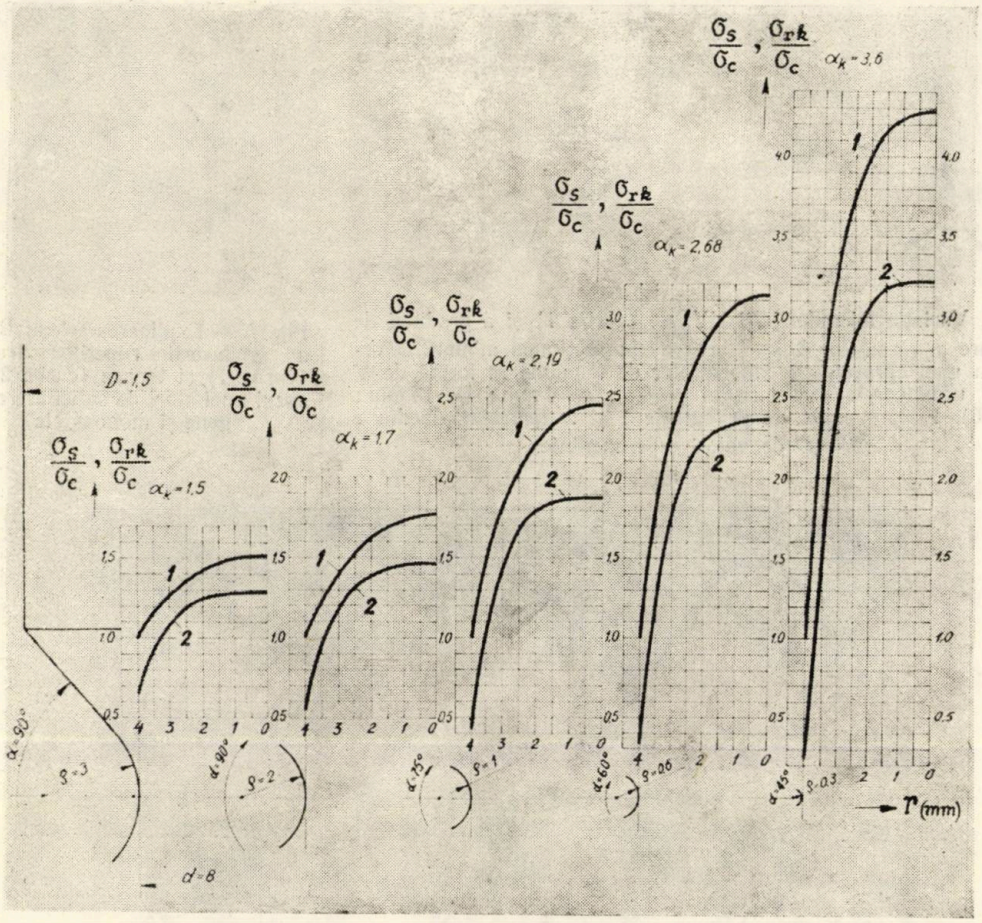



Fig. 5. — Reprezentarea funcțiilor $\varphi_1$ și $\varphi_2$ din relațiile (6) și (7) în coordonate cilindrice pentru 5 valori ale coeficientului de concentrare a tensiunii $\alpha_k$:

curbele 1 corespund funcției $\varphi_2$, $\sigma_S/\sigma_c = f(r)$; curbele 2 corespund funcției $\varphi_1$, $\sigma_{rk}/\sigma_c = f(r)$

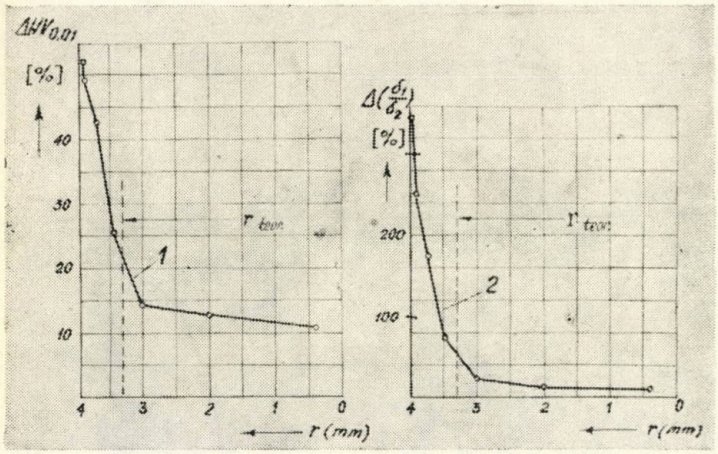



Fig. 6. Variația microdurității $HV_{0,01}$ (curba 1) și a gradului de orientare a granulelor $\delta_1/\delta_2$ (curba 2) în secțiunea minimă deformată a unei epruvete cu concentrator de tensiune în formă de V (avînd următoarele caracteristici $\rho$=0,3; a=4 mm; D=15 mm; $\alpha_k$=3,6). Fiecare punct de pe curbele 1 și 2 reprezintă media a 50—80 de valori experimentale

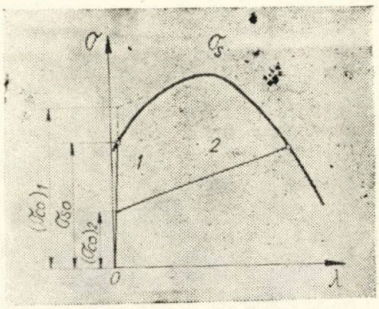



Fig. 7. — Explicarea schematizată a producerii ruperilor fragile (curba 1) și tenace (curba 2) în cazul unei stări de solicitare omogene și monoaxiale

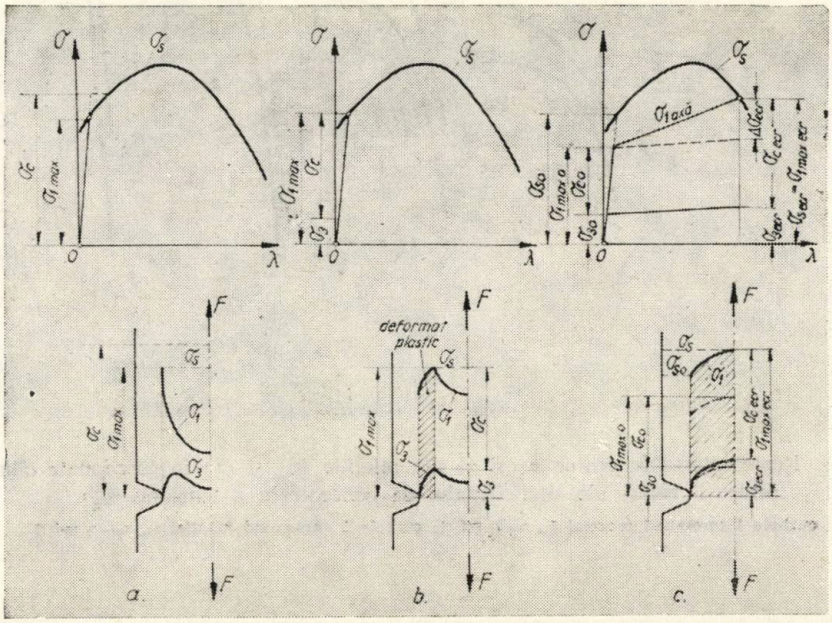



Fig. 8. — Explicarea schematizată a producerii ruperilor în cazul unei stări de solicitare triaxiale și neomogene:

**a — rupere fragilă; limita de curgere nu a fost atinsă încă la suprafața epruvetei; b — rupere tenaco-fragilă; deformarea plastică a cuprins o parte din secțiune însă miezul epruvetei a rămas în stadiu elastic; c — rupere tenace; întreaga secțiune a fost deformată plastic înainte de producerea ruperii.**

Din cele de mai sus rezultă că determinarea rezistenței la separare se poate efectua cu o suficientă precizie pentru concentratorii de tensiune avînd $\alpha_k = 1{,}5—4$, la care, pentru marea majoritate a metalelor folosite în tehnică se obțin ruperi înainte ca deformația plastică să cuprindă întreaga secțiune. În sprijinul acestei concluzii stau și rezultatele verificărilor experimentale, care au demonstrat că valorile rezistenței la separare nu depind de valoarea coeficientului de concentrare, produsă de crestătura în V [14].

4. **Contribuție relativ la determinarea rezistenței la separare în practica inginerească**

Una dintre dificultățile principale la stabilirea rezistenței la separare și la generalizarea ei în tehnica inginerească constă în calculele extrem de laborioase ce trebuie efectuate pentru fiecare concentrator ($\rho$), dimensiune a epruvetei (a) și metal ($\sigma_c$) în parte. Autorii au căutat să înlăture aceste neajunsuri, punînd ecuațiile (2)a și (3)a sub forma

$$\frac{\sigma_S}{\sigma_c} = \varphi_1 (\cos V_M) \tag{6}$$

$$\frac{\sigma_{rk}}{\sigma_c} \varphi_2 (\cos V_M), \tag{7}$$

unde funcțiile $\varphi_1$ și $\varphi_2$ depind numai de forma concentratorului de tensiune (raza de curbură $\rho$).

Funcțiile $\varphi_1$ și $\varphi_2$ au fost calculate de autori la o gamă de 5 concentratori de tensiune, care corespund la următoarele valori ale coeficientului teoretic de concentrare a tensiunilor (după Neuber) $\alpha_k = 1{,}5$ ; 1,7 ; 2,19 ; 2,68 și 3,6. Această gamă este suficientă pentru determinarea rezistenței la separare a tuturor metalelor tehnice. Ele sînt reprezentate grafic în figurile 4 a și 4 b. Pentru ușurința determinărilor, aceste diagrame au fost transpuse în coordonate cilindrice (*fig. 5*).

Cu ajutorul diagramelor din *figura 5*, rezistența la separare pentru un anumit caz se determină după cum urmează :

— se determină rezistența convențională de rupere la tracțiune a epruvetei cu concentratorul ales, $\sigma_{rk}$ — forța de rupere/secțiunea minimă inițială ;

— se determină limita de curgere la tracțiune a metalului, $\sigma_c$ sau $\sigma_{0,2}$, pe epruveta netedă de același diametru cu cel al epruvetei încrestate ;

— în funcție de raportul $\sigma_{rk}/\sigma_c$, din *figura 5*, curbele 2, se determină grafic valoarea coordonatei $r_M$ a punctului unde se depășește rezistența la separare ;

— cu valoarea $r_M$ astfel stabilită din *figura 5*, curbele 1, se determină valoarea raportului $\sigma_S/\sigma_c$, respectiv rezistența la separare $\sigma_S$ .

### 5. Posibilități experimentale de evidențiere a trecerii de la zona defomată elastic la zona deformată plastic la epruvete încrestate

După cum s-a mai menționat, condițiile reale în care se desfășoară ruperea epruvetelor încrestate sînt oarecum diferite de ipotezele care stau la baza deducțiilor teoretice. Datorită acestui fapt, valoarea teoretică a rezistenței la separare va diferi întrucîtva de cea reală.

Pentru a verifica în ce măsură calculele teoretice reflectă situația reală, s-au întrebuințat două procedee experimentale de determinare a coordonatei punctului de trecere de la zona deformată elastic la zona deformată plastic.

*Măsurători de microduritate*

În cursul deformării plastice, datorită fenomenului de întărire se produce o mărire a durității granulelor. Reprezentînd variația pe secțiune a durității medii a granulelor și comparînd cu valoarea microdurității elementelor nedeformate se poate stabili trecerea de la zona deformată plastic la zona deformată elastic (*fig. 6*, curba 1).

*Măsurători ale gradului de orientare a granulelor*

În urma deformațiilor plastice are loc în secțiunea minimă și o orientare a structurii metalului în direcția tensiunii principale maxime, presupunînd că în urma unui tratament termic corespunzător structura nu prezintă statistic o orientare sensibil preferențiată.

Prin determinarea raportului mediu $\delta_1/\delta_2$ dintre dimensiunile granulelor în direcție longitudinală și radială și reprezentarea acestuia în funcție de distanța față de axa epruvetei, se poate stabili de asemenea trecerea de la zona elastică la zona deformată plastic (*fig. 6*, curba 2).

După cum rezultă din figura 6, între determinările experimentale efectuate după cele două metode descrise și calculul teoretic există o corespondență ; în dreptul razei corespunzătoare trecerii de la domeniul elastic la domeniul plastic, microduritatea și gradul de orientare a granulelor cresc brusc. Totuși, în domeniul elastic există deja o creștere oarecare a microdurității și a gradului de orientare a granulelor. Această constatare reclamă efectuarea unor corecții care să țină seama de efectele neglijate într-o primă aproximație.

### 6. Stabilirea rezervei de tenacitate a materialelor

Considerînd cazul unei stări de tensiune omogene și monoaxiale, se poate reprezenta variația rezistenței la separare $\sigma_S$ și a limitei de curgere $\sigma_c$ în funcție de alungirea reală logaritmică $\lambda$, (*fig. 7*). Ruperea se produce

în acest caz la locul de intersecție al celor două curbe, adică în momentul cînd $\sigma_1 = \sigma_c = \sigma_s$. Se pot ivi două cazuri : cele două curbe se intersectează în partea stîngă (*fig. 7*, curba 1) sau în partea dreaptă (*fig. 7*, curba 2) cu un consum apreciabil de lucru mecanic de deformare. Cele două cazuri reprezintă, de fapt, o rupere cu caracter fragil și o rupere tenace. In această interpretare a ruperii tenace, respectiv fragile, rezerva de plasticitate poate fi exprimată prin raportul ordonatelor, $\sigma_{s0}/\sigma_{c0}$, corespunzător stadiului nedeformat plastic, $\lambda = 0$.

Prin modificarea condițiilor de încercare — variația vitezei de deformare v și a temperaturii T — curba $\sigma_c = f(\lambda)$ își schimbă poziția și alura, apropiindu-se sau depărtîndu-se de curba $\sigma_s = f(\lambda)$. In acest fel, rezerva de tenacitate se poate micșora, respectiv mări, în funcție de valorile lui v și T, lucru cunoscut din practică.

In cazul stării de tensiune neomogene și triaxiale, în principiu sînt posibile trei cazuri de rupere : rupere complet fragilă, rupere tenaco-fragilă și rupere complet tenace. In primul caz, al ruperii complet fragile, fisura este inițiată înainte de atingerea limitei de curgere la suprafața epruvetei (*fig. 8 a*). In cazul ruperii tenaco-fragile în momentul ruperii o parte din secțiune este deformată plastic, miezul rămîne în stadiu elastic (*fig. 8 b*). In cazul ruperii tenace, fisura se produce abia după deformarea plastică a întregii secțiuni (*fig. 8 c*). Cele trei cazuri de mai sus pot surveni în mod practic cînd epruveta dintr-un material dat și cu un anumit concentrator se încearcă în diferite condiții de temperatură și viteză de deformare, astfel încît limita de curgere să scadă de la *figura 8 a* către *figura 8 c*, materialul devenind din ce în ce mai plastic.

Pentru definirea rezervei de tenacitate în cazul stării de tensiune neomogene și triaxiale, este necesară mai întîi stabilirea stării de referință. Autorii sînt de părere că trebuie admisă ca stare de referință ruperea corespunzînd cazului cînd deformația plastică a ajuns chiar în axa epruvetei, din mai multe motive :

— începînd de la această stare limită pentru producerea ruperii, se absoarbe o cantitate apreciabilă de lucru mecanic,

— această stare poate fi bine definită teoretic și stabilită experimental.

In această condiție rezerva de plasticitate poate fi definită ca raportul $\sigma_{s0}/\sigma_{1a}$ dintre rezistența la separare și tensiunea longitudinală principală de pe axa epruvetei, în momentul cînd deformația plastică a ajuns pînă acolo (*fig. 8 c*).

### 7. Un criteriu pentru aprecierea comportării tenaco-fragilă a organelor de mașini și elementelor de construcție

In practica inginerească survine frecvent situația de a determina forma piesei în condiții de exploatare date și la un material ales corespunzător, astfel încît să se evite pericolul unei ruperi fragile. Aceasta revine în a

stabili astfel razele de curbură minime pentru forme de concentratori de tensiune impuse de construcția considerată, încît la vitezele de deformare și la temperaturile cunoscute prin datele de proiectare, precum și la materialul folosit, ruperea să se producă numai după deformarea plastică a întregii secțiuni (*fig. 8 c*).

Bazați pe considerațiile expuse anterior, pentru soluționarea acestei probleme autorii propun următoarea metodă.

**a.** Pentru diferite forme de concentratori de tensiune să se determine funcțiile $\sigma_s/\sigma_c = f(\rho)$ sau $\sigma_s/\sigma_c = f(\alpha_k)$, respectiv $\sigma_{rk}/\sigma_c = f(\rho)$ sau $\sigma_{rk}/\sigma_c = f(\alpha_k)$, pentru plasticizarea completă a secțiunii ($r=0$). După cum rezultă din *figura 9*, pentru profilele hiperbolice, respectiv profilele V echivalente, funcția $\sigma_s/\sigma_c = f(\alpha_k)$ are o alură liniară. Pentru alte forme de concentratori, curbele pot avea alte aluri (*fig. 10*) și pot fi obținute numai experimental, deoarece pentru concentratori de formă arbitrară determinarea repartiției tensiunilor principale este inaccesibilă calculului matematic. În acest scop se determină prin încercări la tracțiune a epruvetelor cu concentratori de formă aleasă și cu diferite valori ale razei de curbură $\rho(\alpha_k)$, folosind una dintre metodele arătate la punctul 5, valoarea $\rho_{critic}(\alpha_{k\ critic})$ corespunzătoare extinderii deformației plastice pe întreaga secțiune. Curbele din *figura 10* au o valabilitate generală, depinzînd numai de forma concentratorului nu și de material și de condițiile de exploatare.

**b.** Se determină cu ajutorul epruvetelor cu profil hiperbolic pentru diferite metale folosite în tehnică valoarea raportului $\sigma^s/\sigma_c$ în funcție de viteza de deformare și de temperatură. Funcțiile $\sigma_s/\sigma_c = f(v, T)$ stabilite pentru diferite metale (*fig. 11*) nu depind de forma concentratorului de tensiune, ci numai de material și de condițiile de exploatare.

Avînd în vedere că în primă aproximație valoarea rezistenței la separare $\sigma_s$ nu depinde substanțial de temperatură și de viteza de deformare [14], pentru construirea curbelor din *figura 11* este suficientă stabilirea variației limitei de curgere $\sigma_c$ în funcție de acești factori.

**c.** Pentru un interval dat de variație a temperaturii și vitezei de deformare, se alege din *figrua 11* valoarea cea mai defavorabilă a raportului $\sigma_s/\sigma_c$ (punctul P), care, introdusă în *figura 10*, determină valorile minime ale coeficientului de concentrare $\alpha_{k\ critic}$, respectiv ale lui $\rho_{critic}$, pentru care la diferitele forme de concentratori de tensiune este asigurată o rupere complet tenace.

O altă situație care poate apărea în practica inginerească este verificarea construcțiilor existente din punctul de vedere al pericolului de rupere fragilă. În acest caz, din diagrama din *figura 10* se obțin valorile $\sigma_s/\sigma_c$ corespunzînd valorii $\alpha_{k\ critic}$, respectiv $\rho_{critic}$ al concentratorilor dați, și se compară cu valorile $\sigma_s/\sigma_c$ obținute din diagrama din *figura 11* pentru condițiile de exploatare respective.

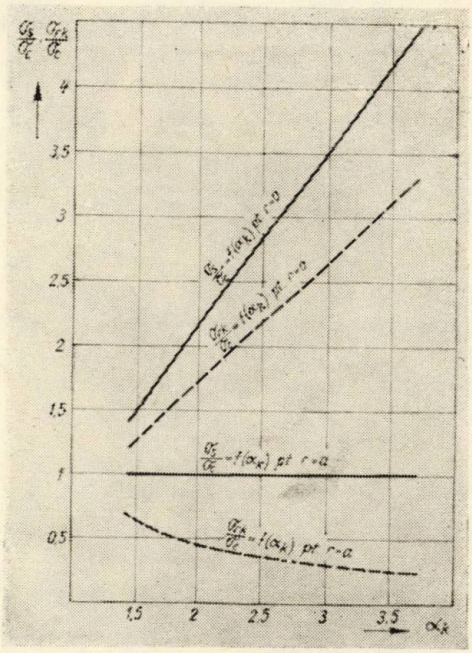


Fig. 9. — Funcțiile $\sigma_S/\sigma_c = f(\alpha_k)$ și $\sigma_{rk}/\sigma_c = (\alpha_k)$ pentru concentratorii de tensiune în formă de V, corespunzătoare plasticizării întregii secțiuni (r=0), respectiv ruperii complet fragile (r=a)

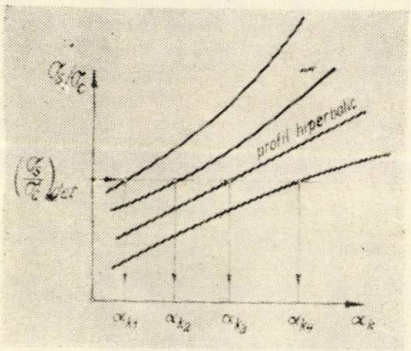


Fig. 10. — Curbele $\sigma_S/\sigma_c = f(\alpha_k)$ corespunzătoare plasticizării complete a secțiunii pentru diferite forme de concentratori de tensiune

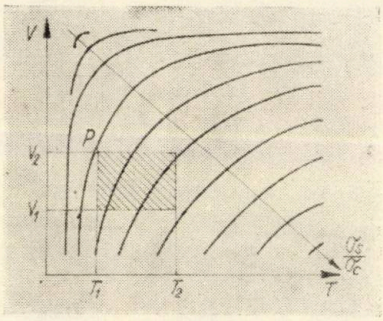


Fig. 11. — Curbele de variație $\sigma_s/\sigma_c = f(v, T)$ corespunzătoare plasticizării întregii secțiuni, la un material dat. In figura este reprezentat și domeniul de temperatură și de viteză corespunzător regimului de exploatare al piesei, care determină punctul cel mai defavorabil P

BIBLIOGRAFIE

1. M. Szczepánski (1963): *The Brittleness of Steel.* John Wiley, New-York-London.
2. K. Rühl (1959): *Die Sprödbruchsicherheit von Stahlkonstruktionen.* Werner-Verlag, Düsseldorf.
3. K. Rühl (1954): Amerikanische Sprödbruchversuche und die Folgerungen für die Sprödbruchprüfung. *Archiv für das Eisenhüttenwesen, 9/10,* 421.
4. H. Schnadt (1957): *Neue Prüfmethoden von Stählen und Schweisswerkstoffen für grosse Schweisskonstruktionen,* Zug (Schweiz).
5. * * * (1958): Comparative Study of the Behaviour of Steel in Different Brittleness Tests. *Centre Nat. Rech. Métallurgiques Liège,* april, Doc. IIS Commis. IX.
6. H. Neuber (1955): *Kerbspannungslehre.* Springer-Verlag, Berlin, ed.
7. A. Möller, H. Neerfeld (1941): *Jahrbuch der deutsch. Luftfahrtforschung,* 2, vol. II, pag. 313.
8. N. N. Davidenkov (1937): *Jurnal Techniceskoi Fiziki,* 7, *4,* 343.
9. E. Siebel (1925): Einfluss der Einschnürung beim Zugversuch auf die Verformung der Metalle. *Berichte der Fachausschüsse des VDE. Werkstoffaufschuss, Bericht 71,* nov., 1—3.
10. E. Siebel, S. Schwaigerer (1948): Zur Mechanik des Zugversuchs. *Archiv für das Eisenhüttenwesen,* 19, 145—152.
11. P. W. Bridgman (1944) The Stress Distribution at the Neck of a Tensile Specimen. Trans. A.S.M., 32, 553—572.
12. N. N. Davidenkov, N. I. Spiridonova (1945): Analiz napriajennogo sostoiania v seike rastianutogo obrazța. *Zavodskaia Laboratoriia, 6,* 583.
13. J. Aronofsky (1951): Evaluation of Stress Distribution in the Symmestrical Neck of Flat Tensile Bars. *Journal of Applied Mechanics,* March., 75—84.
14. G. W. Ujik (1950): *Soprotivlenie ostrîvu i procinosti metallov.* Izd. Akad. Nauk S.S.S.R., Moskova-Leningrad.
15. W. Kuntze (1932): Kohäsionsfestigkeit, *Mitt. der deutsch. Materialprüfungsanstalten, Sonderheft, 20.*
16. D. J. Mac Adam (1941): The Technical Cohesive Strength of Metals. *Journal of Applied Mechanics,* A.
17. G. Sachs, J. D. Lubahn (1945): The Effect of Triaxiality on the Technical Cohesive Strength of Steels. Journal of Applied Mechanics, 12, 241—252.
18. I. V. Fridman (1946): *Mehaniceskie svoistva metallov.* Oboronghiz, Moskva.

# APLICAREA METODEI SARCINII PROGRESIVE LA STABILIREA DURABILITĂȚII ȘI A REZISTENȚEI LA OBOSEALĂ

B. HOROVITZ, M. CRUDU, D. PERJU, M. BALEKICS
*Institutul politehnic, Timișoara*

Metoda sarcinii progresive utilizată la încercarea la oboseală a metalelor, prezintă un interes deosebit și pentru încercarea organelor de mașini. În lucrare se arată modul cum poate fi aplicată metoda sarcinii progresive în cazul organelor de mașini asupra cărora acționează presiuni hertziene, cînd viteza de încărcare variază după o lege hiperbolică.

## 1. INTRODUCERE

Determinarea rezistenței la oboseală prezintă un interes deosebit pentru calculele de dimensionare și de verificare a organelor de mașini.

Metoda clasică de determinare a rezistenței la oboseală, metoda Wöhler, are următoarele dezavantaje: necesită un număr mare de epruvete și un timp de încercare lung. Pentru eliminarea acestor dezavantaje s-au imaginat diferite metode de încercare prescurtată [1] dintre care în ultimii ani se extinde foarte mult metoda sarcinii progresive.

Avînd în vedere că majoritatea organelor de mașini funcționează la sarcini ciclice cu amplitudini variabile, încercarea cu sarcină progresivă (amplitudine variabilă) modelează mai fidel fenomenul real.

Metoda prezintă un deosebit interes cînd se urmărește influența anumitor parametri asupra rezistenței la oboseală, cînd este suficientă obținerea unor valori comparative, ale tensiunii de rupere la sarcina progresivă ($\sigma_u$).

Metoda de încercare a organelor de mașini la sarcină progresivă se pretează deopotrivă atît la încercări pentru stabilirea limitei de oboseală (durabilitate nelimitată) cît și pentru încercări la durabilitate limitată.

Modul cum se folosește metoda sarcinii progresive pentru stabilirea limitei de oboseală este analizat amănunțit în lucrările [1]—[4].

### 2. Aplicarea metodei sarcinii progresive la încercarea organelor de maşini la durabilitate limitată

În cazul încercărilor la durabilitate limitată se impune determinarea experimentală a diagramei de durabilitate $\sigma=\sigma(N)$.

Unii cercetători [2] au propus utilizarea relaţiei

$$N=N_0 e^{-\frac{\sigma}{0{,}434\,K}} \tag{1}$$

(în care: $\sigma$ este rezistenţa de rupere la oboseală a organului de maşină încercat la N cicluri de solicitare) pentru a exprima dependenţa funcţională dintre rezistenţă la oboseală şi numărul de cicluri de solicitare. Expresia (1) în sistemul de coordonate semilogaritmice ($\log N, \sigma$) reprezintă o dreaptă.

Cercetări experimentale la oboseală cu amplitudine constantă făcute asupra curelelor trapezoidale, roţilor din material plastic, rulmenţilor etc., au confirmat ecuaţia (1) în intervalul de $10^6$—$5 \cdot 10^8$ cicluri (domeniul uzual de folosire al organelor de maşini cu durabilitate limitată).

Alţi cercetători [6], [7] au propus exprimarea matematică a acestui fenomen sub forma

$$\sigma^m N=K \tag{2}$$

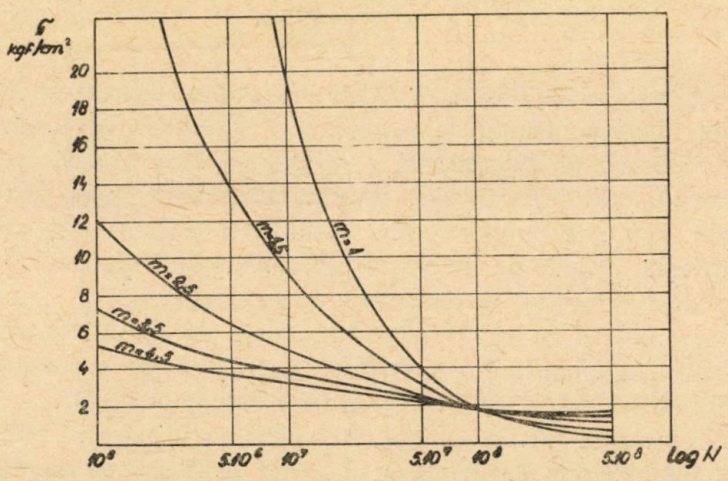



Fig. 1. — Reprezentarea ecuaţiei $\sigma^m N=K$ în coordonate semilogaritmice pentru diferite valori ale lui m

în care m, K constante pentru diferite organe de maşini din acelaşi material şi aceeaşi geometrie.

Din *figura 1* în care s-a prezentat ecuaţia (2) în coordonate semilogaritmice, pentru diferite valori ale lui m, se constată că pentru intervalul

considerat mai sus pentru numărul de cicluri de solicitare şi $m > 3$ curbele obţinute se pot aproxima cu drepte.

Acesta este şi motivul pentru care mulţi cercetători, folosind ecuaţia (2) au reprezentat-o totuşi ca dreaptă într-un sistem de coordonate semilogaritmice.

Pentru curele trapezoidale ($m=5—11$), rulmenţi ($m=3{,}33$), roţi dinţate din material plastic ($m=4—6$) etc. aproximaţia făcută cu relaţia (2) este admisibilă [1], [5], [8].

Pentru prelucrarea mai comodă a rezulatelor încercărilor la sarcină progresivă s-a admis relaţia (2), folosindu-se un sistem de coordonate dublu logaritmic.

Tensiunea la încărcare progresivă la un moment dat depinde de tensiunea iniţială de încărcare (la pornire), de numărul de cicluri efectuat de epruvetă pînă în acel moment şi de viteza de creştere a sarcinii.

Din punctul de vedere al construcţiei standului de încercare soluţia cu creşterea liniară a sarcinii este cea mai simplă, realizîndu-se prin deplasarea cu viteză constantă a unei greutăţi în lungul unui braţ. Pe acest

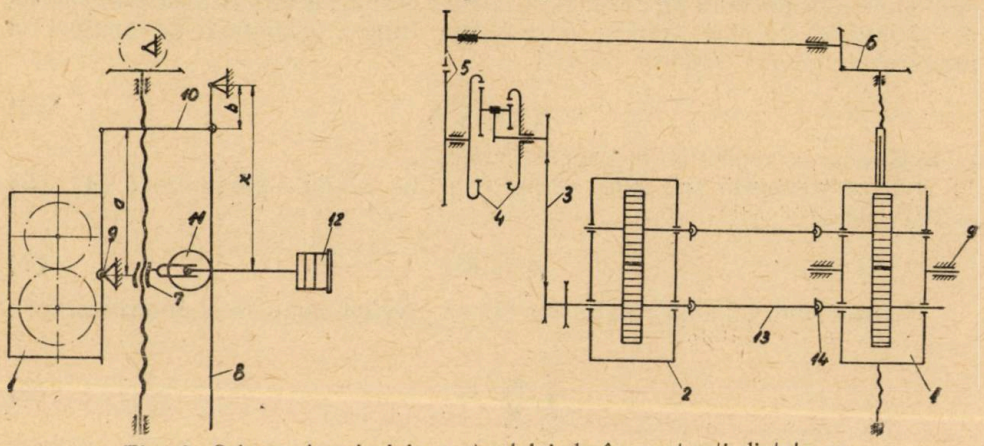



Fig. 2. Schema de principiu a standului de încercat roţi dinţate cu încărcare progresivă

principiu a fost realizat un stand de încercat roţi dinţate cu sarcină progresivă, a cărui schemă de principiu este dată în *figura 2* (descrierea şi funcţionarea standului [8]).

Sarcina F după un număr n de cicluri se poate determina cu expresia

$$F = F_0 + un \qquad (3)$$

în care

$F_0$ este sarcina iniţială ;
u — viteza de creştere a sarcinii ;
n — numărul de cicluri pînă la momentul considerat.

In cele ce urmează se va considera cazul cînd sarcina inițială $F_0=0$.

Tensiunea de încovoiere $\sigma_i$ crește direct proporțional cu sarcina deci se poate scrie următoarea relație:

$$\sigma_i = C_i n \tag{4}$$

unde $C_i$ este viteza de creștere a tensiunii de încovoiere care depinde de u și parametrii geometrici.

Pentru încercări în vederea stabilirii durabilității unor organe de mașini supuse la presiune de contact și la care contactul inițial este liniar, se stabilește următoarea dependență dintre presiunea de contact $\sigma_k$ și numărul de cicluri:

$$\sigma_k = C_c \sqrt{n} \tag{5}$$

unde $C_c$ este o constantă care depinde de u și de parametrii geometrici.

Relația (5) s-a stabilit pe baza relației lui Hertz.

Pentru încercări în vederea stabilirii durabilității unor organe de mașini supuse la presiuni de contact și la care contactul inițial este punctiform, se stabilește în mod analog dependența dintre presiunea de contact și numărul de cicluri conform relației

$$\sigma_k = C_r \sqrt[3]{n}, \tag{6}$$

unde $C_r$ este o constantă de proporționalitate.

Forma generală sub care se pot exprima relațiile particulare (4), (5) și (6) este:

$$\sigma = Cn^p. \tag{7}$$

Considerînd valabilă relația lui Miner privind cumularea deteriorărilor:

$$\int_0^{\sigma_u} \frac{dn}{N} = 1 \tag{8}$$

și ținînd cont de relațiile (2) și (7) se obține:

$$\sigma_u^{\frac{pm+1}{p}} = KC^{1/p}(pm+1) \tag{9}$$

în care $\sigma_u$ este solicitarea la încărcarea progresivă care are ca efect scoaterea din uz a organului încercat.

Se observă că într-un sistem lagoritmic cu axe ($\log C$, $\log \sigma_u$) relația (9) reprezintă o dreaptă de ecuație:

$$\log \sigma_u = \frac{1}{pm+1} \log C + \frac{p}{pm+1} \log K(pm+1) \tag{10}$$

reprezentată în *figura 3*.

Ridicînd experimental diagrama $\sigma_u = \sigma_u(c)$ conform *figurii 3* se poate determina panta dreptei și cu aceasta coeficientul m al diagramei de durabilitate.

Din *figura 3*

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{\overline{A_2A_1}}{\overline{AA_1}} = \frac{\log \sigma_{u_2} - \log \sigma_{u_1}}{\mu_\sigma} \frac{\mu_c}{\log C_2}$$

sau

$$\frac{\log \sigma_{u_2} - \log \sigma_{u_1}}{\log C_2} = \operatorname{tg}\beta \frac{\mu_\sigma}{\mu_c}, \qquad (11)$$

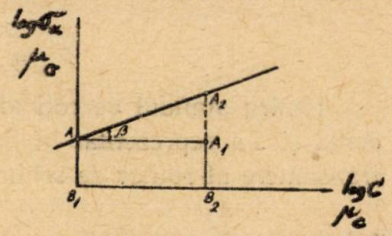


Fig. 3. — Diagrama $\log \sigma_u = f(\log C)$

unde $(1, \sigma_{u_1})$, $(C_2, \sigma_{u^2})$ sînt coordonatele corespunzătoare punctelor A și $A_2$.

$\mu_\sigma = \frac{\log \sigma_{u_1}}{\overline{B_1A}}$ este scara ordonatelor,

$\mu_c = \frac{\log C_2}{\overline{B_1B_2}}$ scara absciselor.

Pe de altă parte, din relația (10)

$$\frac{\log \sigma_{u_2} - \log \sigma_{u_1}}{\log C_2} = \frac{1}{pm+1}, \qquad (11')$$

Se egalează expresiile (11) și (11') și se obține valoarea coeficientului m

$$m = \frac{\operatorname{ctg}\beta \frac{\mu_c}{\mu_\sigma} - 1}{p}. \qquad (12)$$

Cu $\sigma_u$, C și m cunoscute, din relația (9) se poate determina coeficientul K al diagramei de durabilitate.

$$K = \frac{\sigma_u \frac{pm+1}{P}}{(pm+1)C^{\frac{1}{P}}}. \qquad (13)$$

Cunoscînd K și m se poate trasa diagrama de durabilitate $\sigma = \sigma(N)$ conform rel. (2).

Dacă se realizează dependența dintre tensiunea la încărcarea progresivă și numărul de cicluri după ecuația (7), atunci viteza de creștere $u_k$ a tensiunii va avea forma

$$u_k = \frac{d\sigma}{dn} = Cpn^{p-1}. \qquad (14)$$

Pentru $p=\frac{1}{2}$ relația (14) devine

$$u_k=\frac{C}{2\sqrt{n}}\cdot \qquad (14')$$

Pentru standul de roți dințate construit s-a determinat această dependență și s-a reprezentat în *figura 4* [$u_k=u_k(i\ ,\ n)$], i fiind raportul de transmitere al roților de schimb.

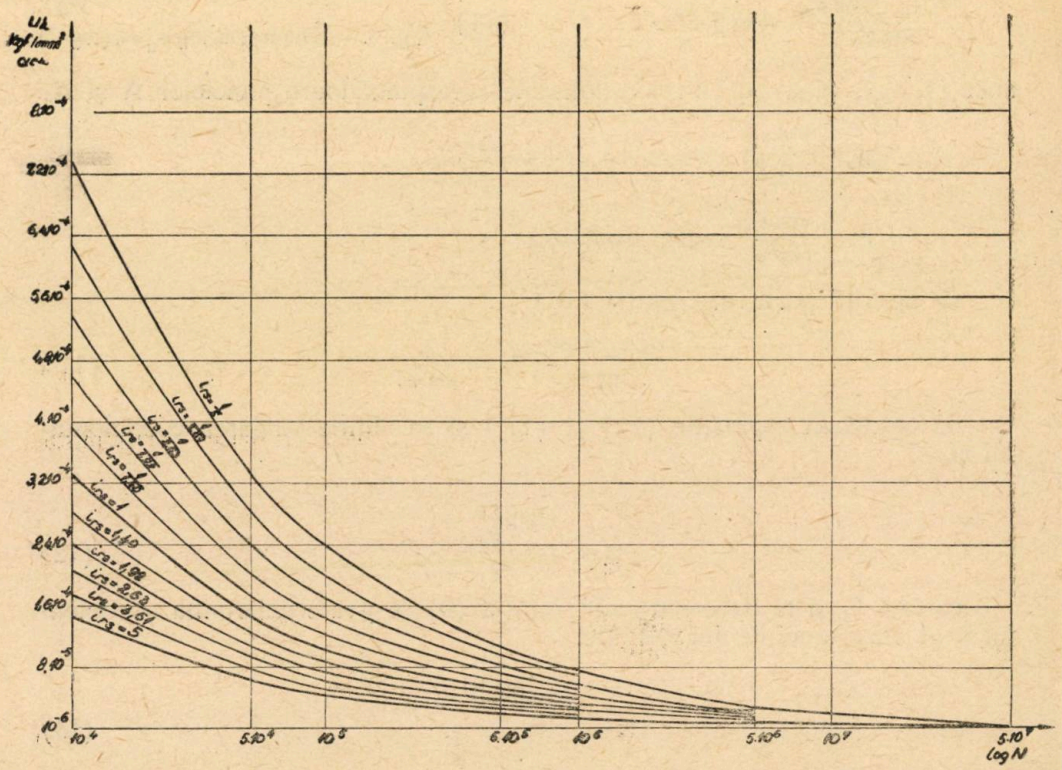



Fig. 4. — Diagrama $u_k=u_k(u_i,\ n)$ pentru cazul cînd viteza de încărcare variază hiperbolic cu $p=\frac{1}{2}$, pentru diferite rapoarte de transmitere i

Din relația (14') și din *figura 4* se observă că viteza de creștere a tensiunii de contact descrește hiperbolic cu numărul de cicluri. Această lege de variație a vitezei prezintă avantaje față de încercările cu viteză constantă respectînd condițiile impuse alegerii vitezei, și anume [3]:

— viteza mare la început pentru a evita efectul de antrenare la subsolicitări;

— viteza medie poate fi aleasă suficient de mică încît să nu se depășească limita de curgere în timpul încercării.

## CONCLUZII

Din cele expuse mai sus rezultă că variația încărcării după o relație de forma (7) prezintă avantaje cînd $p < 1$ față de metoda clasică cînd $u = \text{const}$.

Ținînd seama de cele de mai sus ar prezenta interes și încercarea la oboseală prin încovoiere a organelor de mașini cu o încărcare cu o viteză variind după o lege ca cea reprezentată în relația (14').

## BIBLIOGRAFIE

1. Șt. Nădășan ș. a. (1962): *Oboseala metalelor*. Ed. tehnică, București.
2. V. Safta, A. Bernath (1963): Contribuții la determinarea rezistenței la oboseală prin încercarea cu încărcare continuă progresivă. Academia R.P.R., Baza de cercetări științifice Timișoara. *Studii și cercetări — Științe tehnice*, **10**, *1—2*.
3. A. Bernath, I. Hajdu, V. Safta (1963): Examinarea metodei de încercare la oboseală cu sarcină progresivă. Încercări efectuate asupra oțelurilor carbon de îmbunătățire. Academia R.P.R. Baza de cercetări științifice. Timișoara. *Studii și cercetări — Științe tehnice*, **10**, *1—2*.
4. A. Bernath, V. Safta (1963): O nouă metodă de încercare la oboseală cu încărcare progresivă. Academia R.P.R. Baza de cercetări științifice, Timișoara. *Studii și cercetări — Științe tehnice*, **10**, *1—2*.
5. B. Horovitz (1963): *Reductoare și variatoare de turație*. Ed. tehnică, București.
6. L. A. Oding (1955): K dislocationnei teorii ustalosti metalov, *Docl. AN SSSR*, *6*.
7. W. Weibull (1949): *Statistical representation of fatigue failures in solids*. Transactions of Royal Inst. of Technique, Stockholm, **27**.
8. B. Horovitz ș. a. (1966): Aplicarea metodei sarcinii progresive la încercarea roților dințate (Comunicare prezentată la sesiunea științifică a cadrelor didactice, IPT).

# INFLUENȚA CONCENTRAȚIEI SURSEI TERMICE ASUPRA UNOR ÎNSUȘIRI FIZICO-MECANICE ALE SUDURILOR REALIZATE ELECTRIC PRIN TOPIRE INTERMEDIARĂ

Acad. ȘT. NĂDĂȘAN, T. SĂLĂGEAN, CLARA BOARNĂ, V. SAFTA

*Centrul de cercetări tehnice, Timișoara*

Condițiile de bază pentru realizarea la sudarea prin presiune cu topire intermediară, a unor îmbinări sudate cu calități comparabile cu ale metalului de bază sînt: suprafețele care vin în contact să fie perfect curate, și ele să fie aduse la o distanță de ordin de mărime a parametrilor rețelei cristaline. Realizarea acestor condiții se poate face, în general, cu o mare varietate de tehnologii, situate între două posibilități extreme: regim „moale", determinat de o încălzire lungă și forță de refulare redusă și regim „dur", caracterizat printr-o încălzire de scurtă durată și forță de refulare mare.

In lucrarea de față s-au cercetat și stabilit, pentru oțelurile nealiate cu 0,14—0,61% C, condițiile suplimentare necesare determinării univoce a regimului tehnologic de sudare. Aceste condiții au rezultat din analiza unor încercări fizico-mecanice fundamentale și a unor aspecte ale transformărilor structurale din oțeluri, ca urmare a sudării lor. Aceste cercetări s-au corelat cu energetica proceselor de sudare.

1. Pentru realizarea unei îmbinări sudate cu calități comparabile cu ale metalului sau aliajului metalic din care sînt confecționate piesele care se sudează, aplicînd procedeul de sudare electrică prin presiune cu topire intermediară, trebuie respectate următoarele condiții de bază: suprafețele care vin în contact să fie perfect curate și să fie aduse la o distanță de ordin de mărime a parametrilor rețelei cristaline a metalului sau aliajului metalic care se sudează.

Curățirea perfectă a suprafețelor este asigurată de un strat protector între metalul încălzit la temperaturi apropiate de punctul de topire și pelicula de oxizi care se formează în mod inevitabil. Acest strat protector trebuie să fie continuu, trebuie să fie topit și trebuie să fie de o grosime minimă de 1—1,5 mm [7], [8], pentru a putea fi evacuat complet prin refulare, împreună cu pelicula de oxizi.

Aducerea suprafețelor care vin în contact la distanțe de ordin de mărime a parametrilor rețelei cristaline, se face prin deformarea plastică a pieselor. Aceasta este asigurată de cîmpul termic în regiunea capetelor pieselor și de forța la refulare. Global vorbind, nu interesează separat un cîmp termic limită și o forță de refulare minim necesară. Ceea ce interesează este o corelare potrivită între cîmpul termic și forța de refulare, astfel încît să se obțină deformarea plastică necesară aducerii suprafețelor la distanțe de același ordin de mărime cu parametrii rețelei cristaline.

Din acest punct de vedere avem următoarele posibilități extreme :

— cîmp termic extins, asigurat de o încălzire lungă și forță de refulare redusă, elemente care determină așa-numitul regim, „moale" de sudare (*MR*);

— cîmp termic puțin extins, asigurat de o încălzire de scurtă durată și forță de refulare mare, elemente care determină așa-numitul regim „dur" de sudare (*DR*).

În cazul regimului dur de sudare se mai observă următoarele : cîmpul termic este puțin extins în lungul barelor însă, ca valori, temperaturile trebuie să fie egale, spre capetele pieselor, cu cele de la regimul moale. Dacă nu se realizează acest lucru, deformarea impusă de forța de refulare mare duce la fisurări în vecinătatea imediată a sudurii. Compensarea încălzirii limitate de timpul scurt de încălzire se face prin mărirea curentului de sudare.

În concluzie, regim moale înseamnă, din punct de vedere tehnologic, timp de încălzire lung, curent de sudare și forță de refulare relativ mici iar regim dur înseamnă timp de încălzire scurt, curent de sudare și forță de refulare relativ mari.

În mod evident, între aceste două situații extreme pot exista o mare varietate de tehnologii intermediare.

2. Din cele arătate rezultă că la sudarea prin presiune cu topire intermediară, realizarea îmbinării este tehnologic posibilă într-o gamă largă de parametri. În multe cazuri, cum ar fi de exemplu cele ale oțelurilor aliate și ale unor aliaje neferoase, limitele parametrilor sînt restrînse de condiții suplimentare. În felul acesta regimul tehnologic apare univoc determinat. Rămîne deschisă problema acelor aliaje metalice la care numărul insuficient de condiții suplimentare lasă la aprecierea tehnologului alegerea oricărui regim de sudare între extremele dur și moale.

Dintre aliajele metalice care intră în această categorie sînt interesante oțelurile nealiate cu carbon. Pentru aceste oțeluri s-au căutat condiții în plus, astfel încît și la ele regimul tehnologic să fie univoc determinat. Găsirea acestor condiții a impus sudarea în cele două regimuri limită și cercetarea unor însușiri fizico-mecanice fundamentale precum și a unor aspecte ale transformărilor structurale din oțeluri, ca urmare a sudării lor. Din această cercetare, corelată cu energetica proceselor de sudare, au rezultat particularitățile globale ale îmbinărilor sudate, determinate de regimul în care s-a lucrat. În consecință, dorința de a dispune de una sau alta dintre particularități înseamnă una sau mai multe condiții tehnologice suplimentare.

3. Experiențele s-au făcut cu bare avînd diametrul de 20 mm, din patru calități de oțeluri hipoeutectoidice. Compozițiile chimice ale oțelurilor folosite sînt indicate în *tabela 1.*

*Tabela 1*

**Compozițiile chimice ale oțelurilor folosite la experimentări**

| Oțelul | Compoziția chimică % | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | C | Mn | Si | S | P |
| I | 0,14 | 0,31 | urme | 0,032 | 0,024 |
| II | 0,38 | 0,63 | 0,29 | 0,035 | 0,034 |
| III | 0,54 | 0,66 | 0,38 | 0,034 | 0,039 |
| IV | 0,61 | 0,75 | 0,22 | 0,023 | 0,061 |

Sudurile s-au executat cu o mașină automată de sudat prin presiune tip TAU-80 (producție R.S. Cehoslovacă).

Valorile parametrilor de sudare în cazul celor două regimuri limită în care s-a lucrat (MR=regim moale, DR=regim dur), sînt date în *tabela 2*; aceste valori au fost păstrate constante pentru toate cele patru calități de oțeluri.

*Tabela 2*

**Valorile parametrilor de sudare în cazul celor două regimuri limită**

| Nr. crt. | Parametrii de sudare | DR | MR |
|---|---|---|---|
| 1 | Lungimea liberă, pentru ambele bare, mm | 72 | 67 |
| 2 | Scurtarea la topire, pentru ambele bare, mm | 15 | 10 |
| 3 | Scurtarea la refulare, pentru ambele bare, mm | 12—14 | 7—9 |
| 4 | Forța de strîngere în bacuri tf | 12 | 12 |
| 5 | Forța specifică la refulare, kgf/mm² | 8—12 | 4—6 |
| 6 | Curentul de preîncălzire, kA | 14—15 | 9—10 |
| 7 | Numărul de cicluri de preîncălzire | 1—2 | 8—10 |
| 8 | Durata unei perioade de sarcină la preîncălzire, sec | ~1 | ~1 |
| 9 | Durata unei perioade de pauză la preîncălzire, sec | ~2 | ~2 |
| 10 | Curentul de topire, kA | 2 | 1,2 |
| 11 | Tensiunea secundară de mers în gol, V | 6 | 3,6 |
| 12 | Viteza de topire (constantă), mm/sec | 1,2 | 1,2 |
| 13 | Durata de realizare a unei suduri, sec | ~18 | ~36 |
| 14 | Durata refulării sub curent, sec | ~0,2 | ~0,2 |
| 15 | Treapta transformatorului de sudură | 16 | 6 |

Menționăm că lungimea liberă a barelor a fost limitată inferior de construcția mașinii cu care s-a lucrat. Deoarece mașina utilizată nu este prevăzută cu un sistem precis de măsurare a forței de refulare, reglarea acesteia s-a făcut în așa fel, încît pentru un regim de sudare dat, să se obțină aceleași scurtări la refulare la toate calitățile de oțel folosite.

În *figura 1* se redau diagramele caracteristice de variație ale curentului de sudare (curentul primar al transformatorului) și puterii electrice consumate, în funcție de timp, pentru cele două regimuri de sudare.

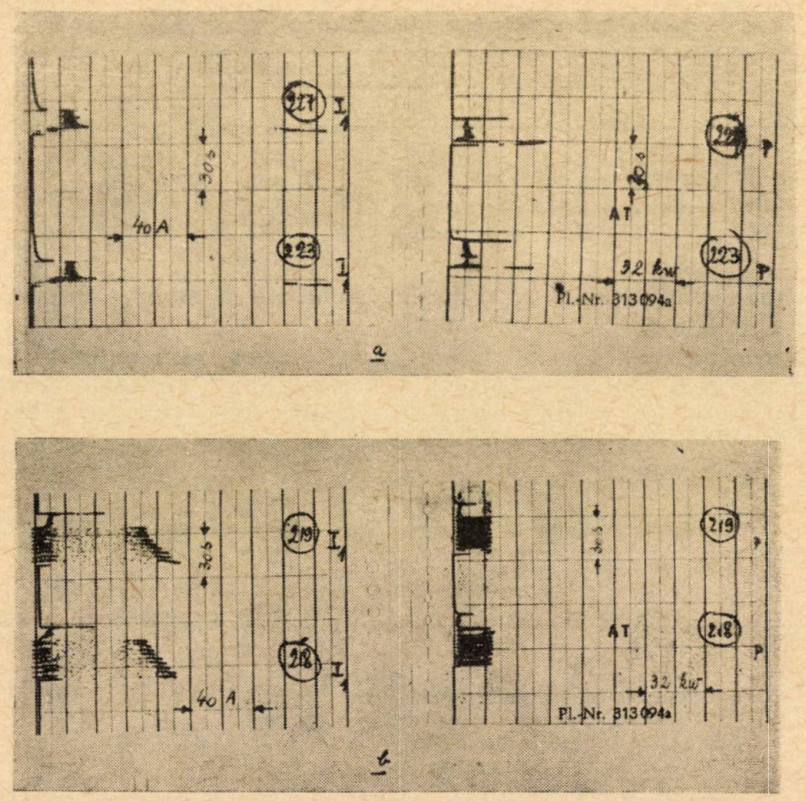



Fig. 1. — Diagramele curentului de sudare (curent primar) și puterii electrice consumate în funcție de timp :
a — regim dur de sudare (*DR*); b — regim moale de sudare (*MR*).

În *figura 2* sînt redate macrostructurile barelor sudate din oțelurile III și IV sudate în *DR* și *MR*. Se observă extinderea diferită, în funcție de regimul de sudare, a zonelor influențate termic precum și cantitățile diferite de metal, eliminate dintre piese.

*4.1.* Schimbările structurale care au intervenit, ca urmare a ciclurilor termice de la sudare, s-au urmărit prin analiza microstructurală a zonelor influențate termic și a sudurilor propriu-zise, în comparație cu materialul de

bază, înainte de sudare. În *figura 3* sînt redate microstructurile (mărire 500×) celor patru oțeluri folosite, observîndu-se creșterea evidentă a conținutului în perlită, pe măsura creșterii conținutului în carbon.

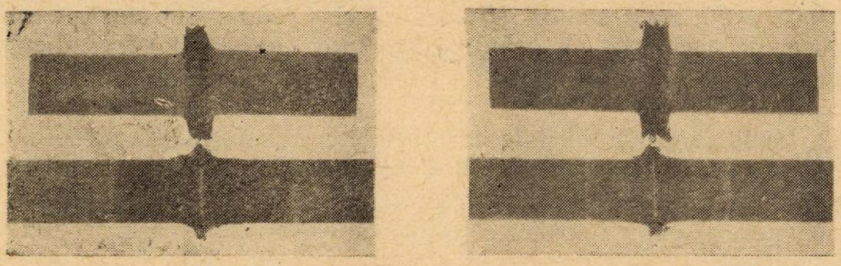


Fig. 2. — Macrostructurile barelor sudate în cele două regimuri :
a — oțel III (0,54% C); b — oțel IV (0,61% C).

În *figura 4* sînt date microstructurile îmbinărilor sudate în regim moale (mărire 50×), pentru cele patru calități de oțeluri. Se observă influența ciclului termic suferit de fiecare oțel, prin creșterea importantă a grăunților și formarea unor structuri Widmanstätten mai mult sau mai puțin pronunțate, a căror prezență se va resimți și prin creșterea durității oțelului în zona respectivă (fapt confirmat, după cum se va vedea mai tîrziu și de măsurătorile de duritate efectuate). În *figura 5* sînt redate microstructurile unor zone de pe linia de sudură (MR), la mărire de 500×, în cazul celor patru oțeluri, iar în *figura 6* aceleași structuri, la mărire de 100× pentru oțelurile I, II, III și IV. În microstructurile din figurile 5 și 6, grație măririlor mai mari, structura Widmanstätten apare mai pregnant. În *figura 7* se arată microstructurile zonelor influențate termic la 6—8 mm de linia de sudură, pentru cele patru oțeluri (mărire 500×). În cazul oțelurilor I și II (0,14 respectiv 0,38% *C*) încălzirea metalului a avut ca urmare o creștere a grăunților (oțelul I) și o tendință spre formare de structură Widmanstätten (oțelul II). În cazul oțelurilor III și IV (0,54 respectiv 0,61% *C*), se observă o tendință de divizare a lamelelor de perlită, structura devenind soorbitică-troostitică, ceea ce are ca urmare o creștere a durității metalului în aceste zone.

În cazul regimului dur de sudare, datorită încălzirii de durată relativ scurtă și forței de refulare relativ mari, zona influențată termic este de mai mică extindere, respectiv metalul supraîncălzit nu mai apare în îmbinare. De asemenea nu s-au putut pune în evidență structuri Widmannstätten. Ca urmare nu se observă o diferență structurală netă între zona influențată termic și linia de sudură propriu-zisă. Lipsa structurii Widmanstätten este explicabilă prin aceea că la regimul dur nu există încălziri de lungă durată la temperaturi înalte în cîmpul austenitic. În ceea ce privește zona supraîncălzită, este sigur că ea a fost parțial eliminată prin refularea mare, însă, datorită deformațiilor importante s-ar putea ca grăunții inițial mari să se fi

redus prin recristalizare sub temperatura de transformare. În cazul oţelurilor I şi II (0,14 respectiv 0,38% *C*), zona sudurii (*figura 8 a* şi *b*) este caracterizată de grăunţi alungiţi perpendicular pe direcţia forţei de refulare, ca urmare a valorii mărite a acesteia. În cazul oţelurilor III şi IV (0,54 respectiv 0,61% *C*), zona sudurii (*figura 8 c* şi *d*) are o structură soorbiticăroostitică, de asemenea cu grăunţi deformaţi (alungiţi) perpendicular pe direcţia forţei de refulare.

*4.2.* Modificările de duritate care însoţesc transformările structurale au fost confirmate prin măsurători HV30 pe secţiuni longitudinale prin barele sudate, pe linii paralele cu axa barelor conform schiţelor din *figura 9*. S-au făcut măsurători pentru toate calităţile de oţeluri folosite şi regimuri de sudare aplicate.

Rezultatele măsurătorilor pentru regimul moale de sudare sînt redate în *figurile 10—13*. Se observă că în cazul oţelurilor I şi II creşterea de duritate faţă de materialul nesudat (cu aproximativ 20 unităţi HV 30) se mani-

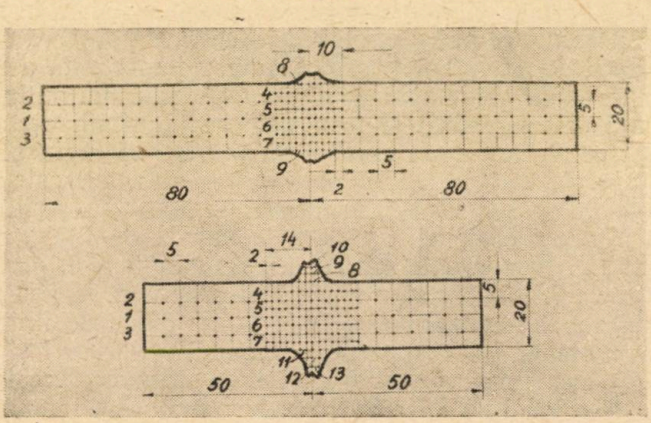
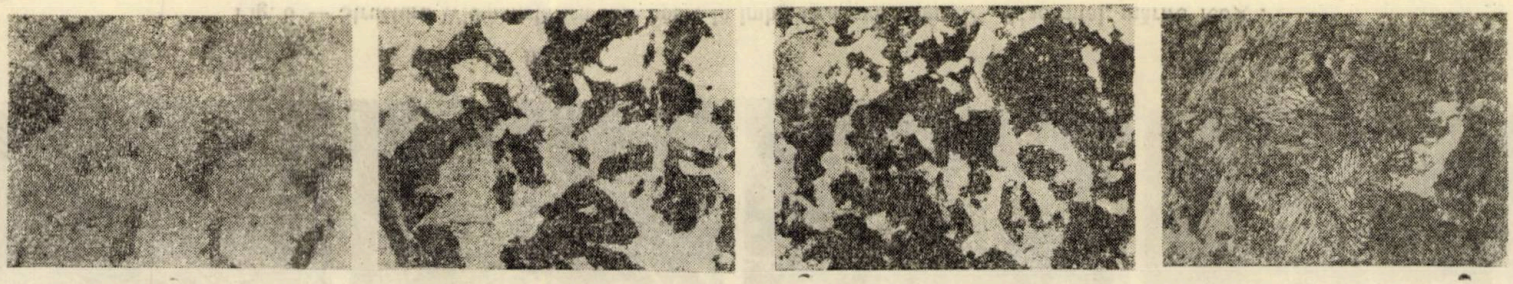


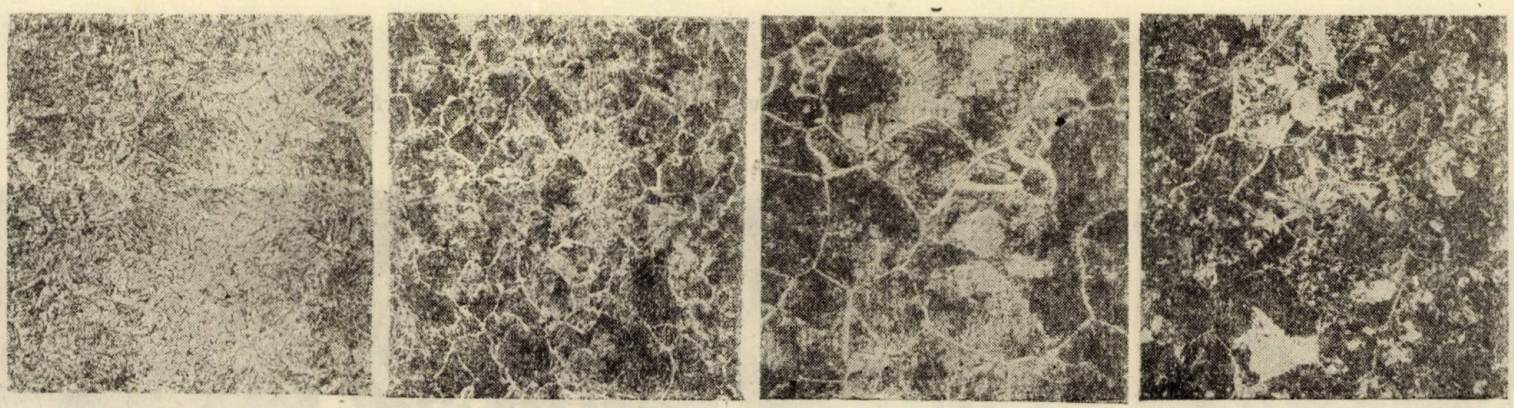

Fig. 9. — Schiţele reţelelor de puncte în care s-a măsurat duritatea barelor sudate:
a — *MR*; b — *DR*.

festă în linia sudurii şi în imediata ei vecinătate, cum de altfel a rezultat şi din microstructuri, unde s-a văzut că singura structură mai dură decît materialul de bază, este cea Widmanstätten, care apare în sudură. În cazul oţelurilor III şi IV, pe lîngă o creştere a durităţii în linia sudurii (cu aproximativ 20 unităţi Vickers), datorită structurii Widmanstätten, la o distanţă de 3—4 mm de linia sudurii începe o zonă avînd duritatea cu 70—80 unităţi Vickers mai mare decît materialul de bază şi care se extinde pe aproximativ 10 mm în fiecare bară. Această zonă corespunde structurii soorbitice-troostitice observată în zona influenţată termic la aceste oţeluri.



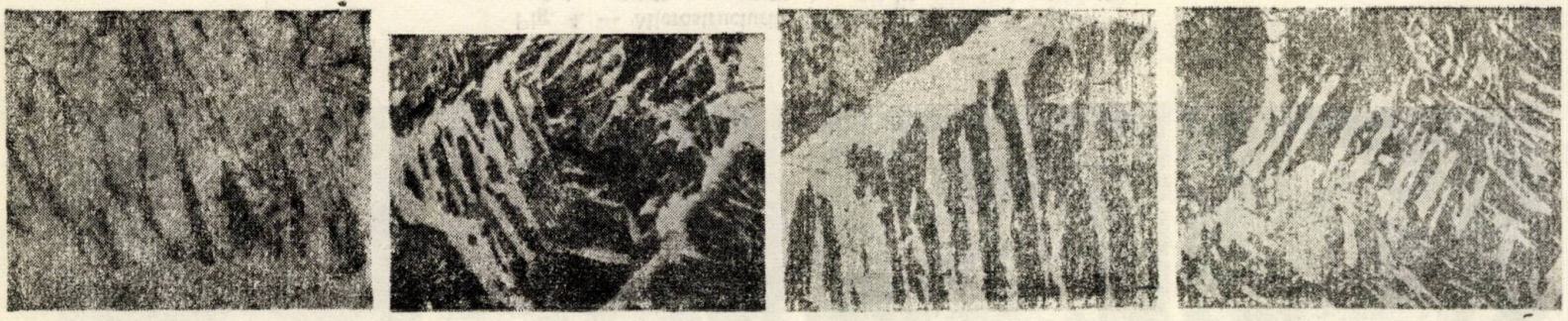
a b c d

Fig. 3. — Microstructurile materialului de bază. Atac nital ; mărire 500×:
a — oțel I (0,14% C); b — oțel II (0,38% C); c — oțel III (0,54% C); d — oțel IV (0,61% C).



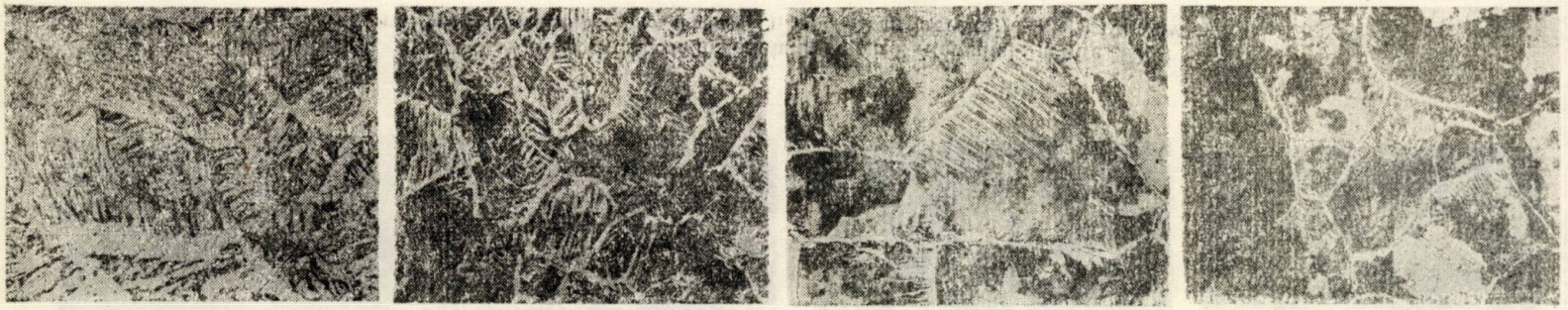
a b c d

Fig. 4. — Microstructurile îmbinărilor sudate în *MR*:
a — oțel I; b — oțel II; c — oțel III; d — oțel IV. Atac nital, mărire 50×.



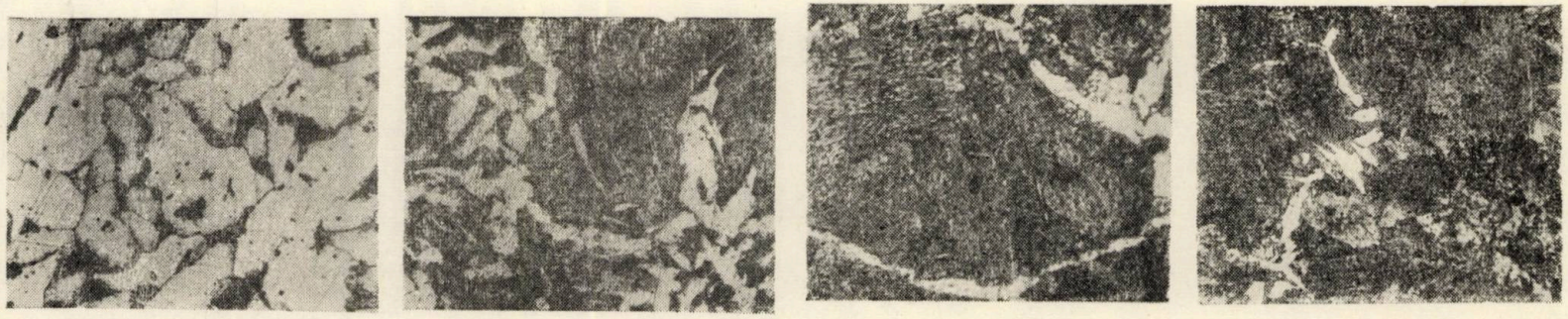
a b c d

Fig. 5. — Microstructura îmbinării sudate în *MR*. Atac nital, mărire 500×:
a — oțel I; b — oțel II; c — oțel III; d — oțel IV



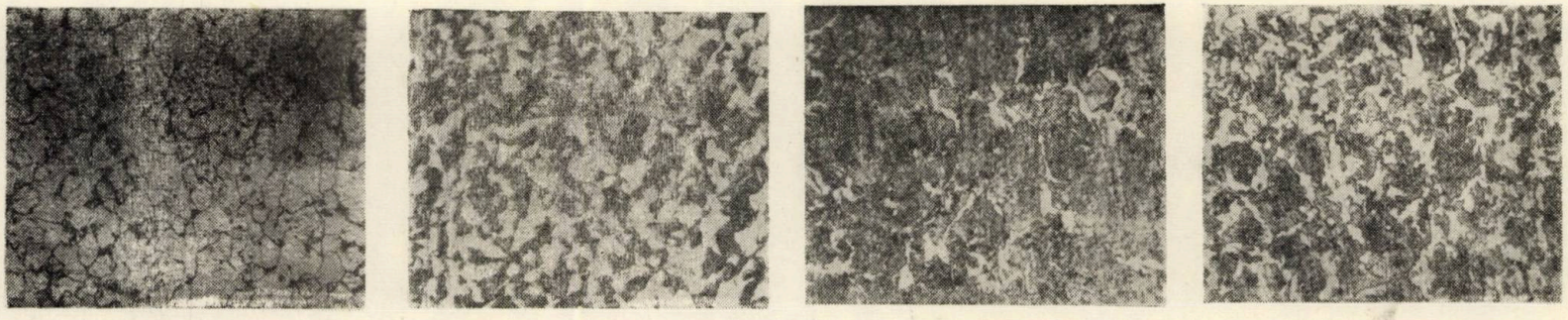
a b c d

Fig. 6 — Structura Widmanstätten care apare în îmbinarea sudată în *MR*. Atac nital, mărire 100×:
a — oțel I; b — oțel II; c — oțel III; d — oțel IV.



a b c d

Fig. 7. Microstructurile zonelor influențate termic, la aproximativ 6—8 mm de îmbinarea sudată în *MR*. Atac nital, mărire 500×:
a — oțel I; b — oțel II; c — oțel III; d — oțel IV.



a b c d

Fig. 8. — Microstructurile îmbinărilor sudate în *DR*:
a — oțel I; b — oțel II; c — oțel III; d — oțel IV.

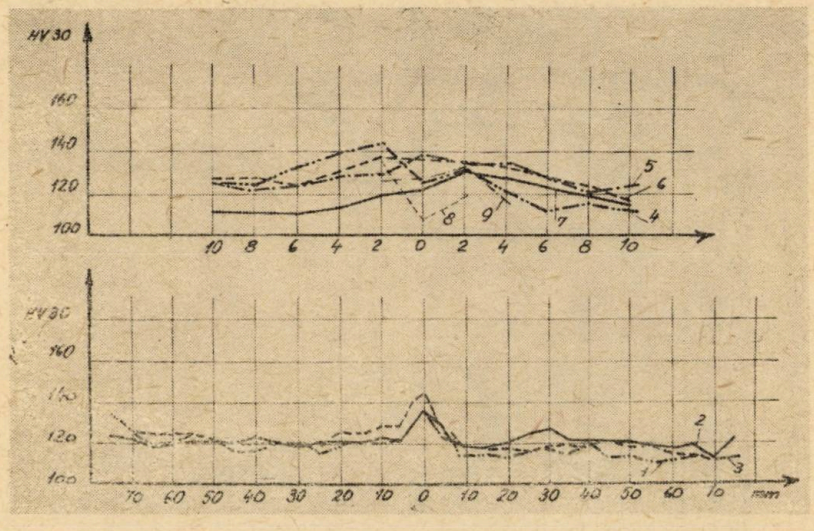
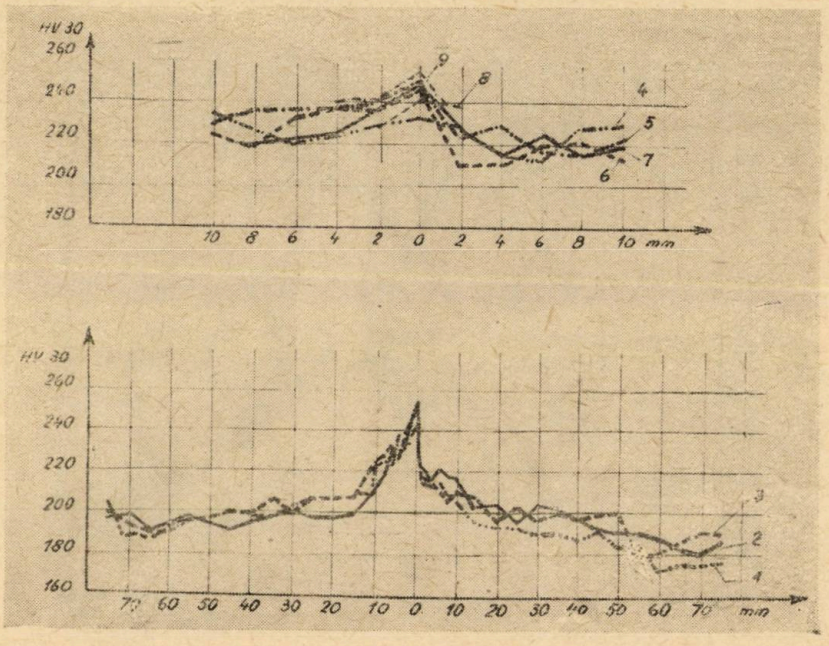



Fig. 10. — Variația durității la bare sudate în *MR*, oțel I




ig. 11.—Variația durității la bare sudate în *MR*, oțel II

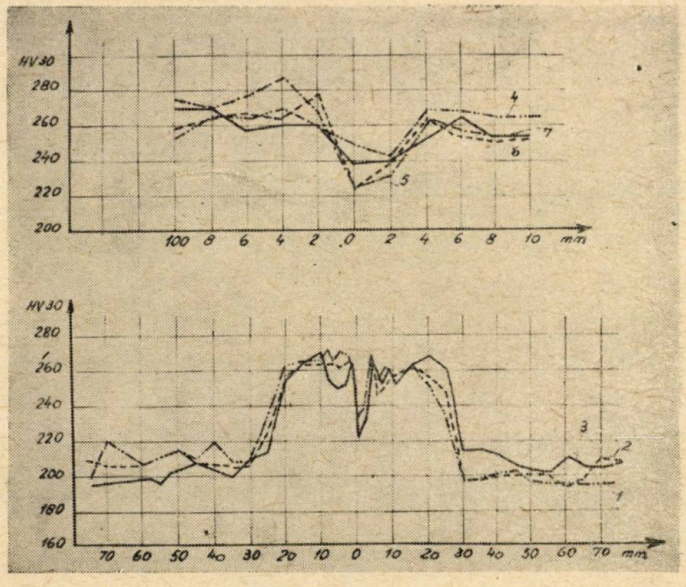



Fig. 12. — Variația durității la bare sudate în *MR*, oțel III

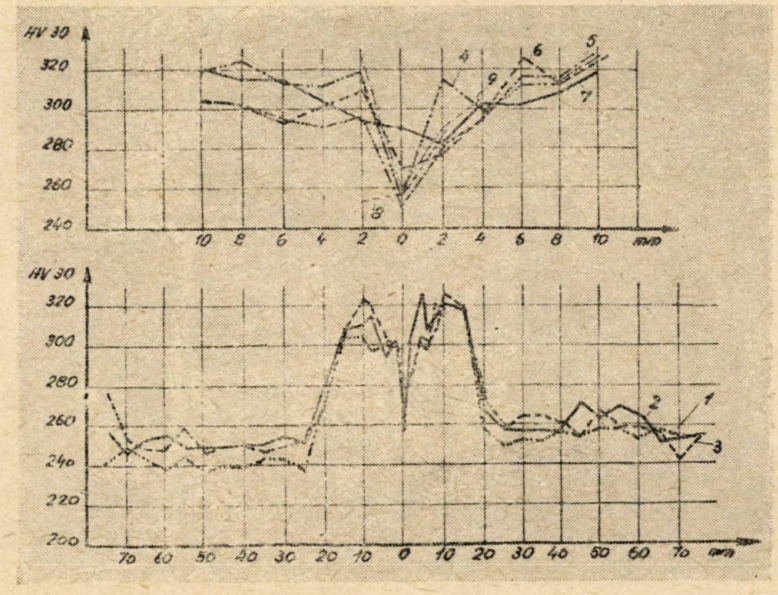



Fig. 13. — Variația durității la bare sudate în *MR*, oțel IV

În *figurile 14—17* sînt reprezentate variațiile de duritate în lungul barelor sudate în regim dur. La toate cele patru calități de oțeluri, diferențele de duritate în lungul barelor sudate, între materialul de bază și zona sudurii sînt mult mai mici decît în cazul regimului moale. În cazul oțelurilor I și II se observă o creștere de duritate în zona influențată termic cu circa 10—20 unități Vickers, creștere datorită întăririi materialului prin deformarea plastică sub acțiunea forței mari de refulare. La oțelurile III și IV creșterea de duritate este maximă în linia de sudură (aproximativ 40 unități Vickers față de materialul de bază) și se datorește structurii soorbitice-troostitice rămasă parțial în îmbinare. Se observă din variațiile de duritate în bavură (liniile

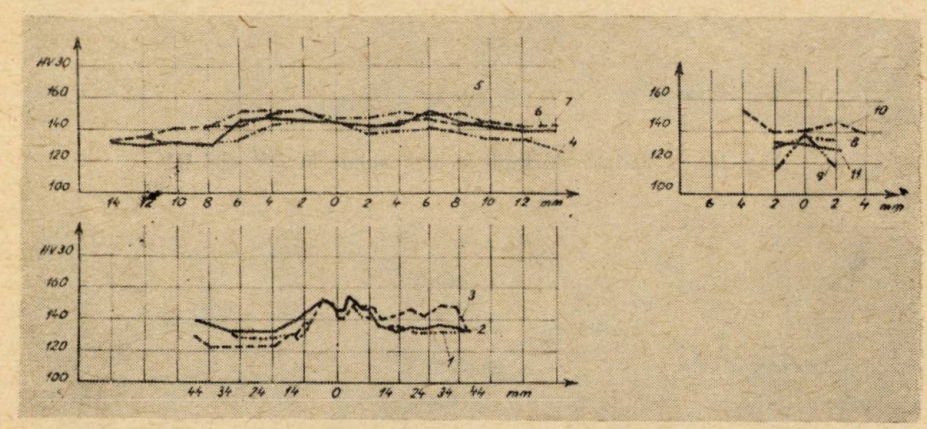


Fig. 14. — Variația durității la bare sudate în *DR*, oțel I

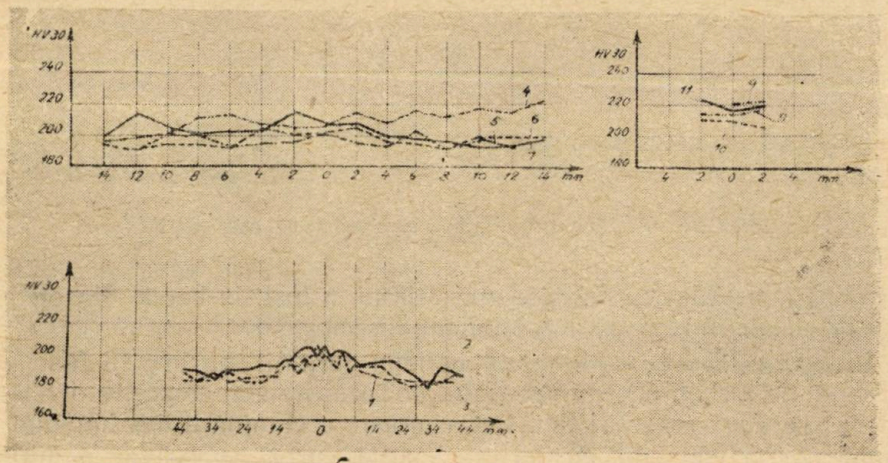


Fig. 15 — Variația durității la bare sudate în *DR*, oțel II

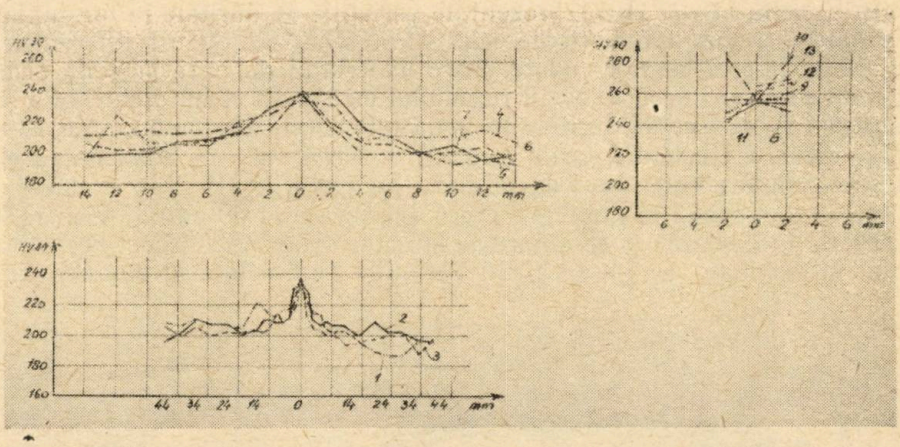


Fig. 16. — Variația durității la bare sudate în *DR*, oțel III

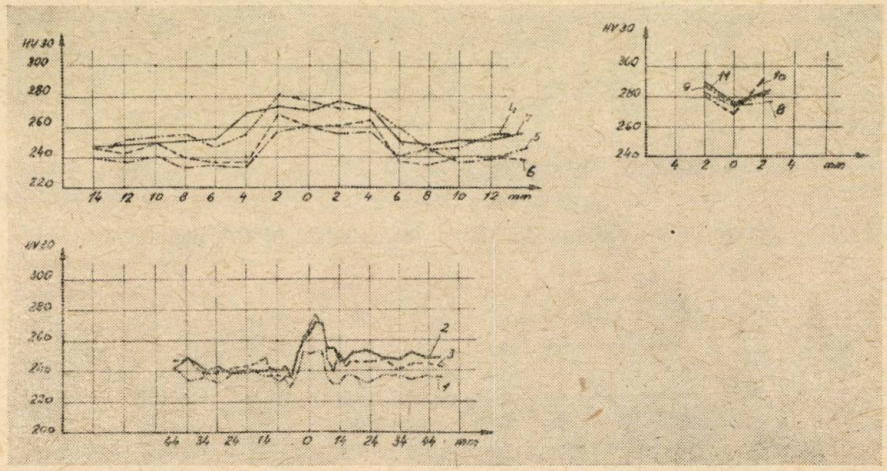


Fig. 17. — Variația durității la bare sudate în *DR*, oțel IV

8—13) că materialul cu duritate mai ridicată a fost, la barele din oțelurile III și IV sudate în regimul dur, eliminat din îmbinare.

În *figura 18* este reprezentată variația durității maxime în funcție de conținutul de carbon pentru materialul de bază nesudat respectiv barele sudate în cele două regimuri limită. Ca urmare a eliminării din îmbinare, la regimul dur, a metalului cu duritate mărită, curba de variație a durității la *DR* este mai apropiată de cea a materialului de bază, decît cea la *MR*.

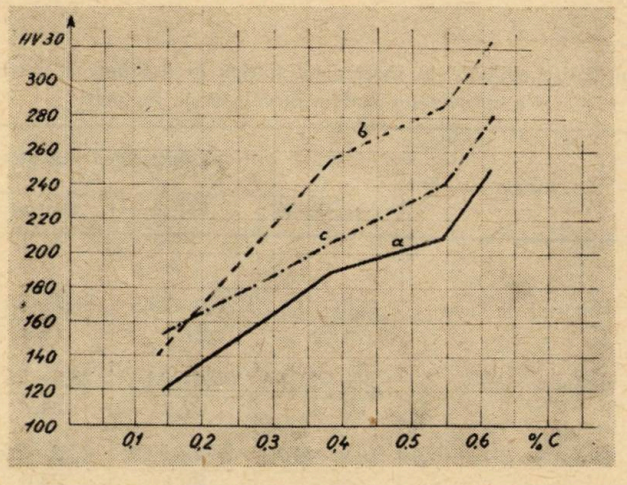



Fig. 18. — Variația durității maxime obținute la îmbinările sudate în funcție de conținutul în carbon :
a — material de bază; b — bare sudate în *MR*; c — bare sudate

Însușirile fizico-mecanice ale barelor sudate au mai fost urmărite și prin încercări statice la tracțiune respectiv încercări la oboseală, efectuate pe epruvete din material sudat în cele două regimuri respectiv nesudat, pentru fiecare calitate de oțel.

*4.3.* Incercările statice la tracțiune s-au efectuat pe epruvete cilindrice cu diametrul de 10 mm. În cazul barelor sudate, sudura a fost plasată la mijlocul epruvetei. Rezultatele încercărilor sînt cuprinse în *tabela 3,* indicîndu-se pentru fiecare caracteristică, sub formă de fracție, valorile minime, maxime și medii. Menționăm că valorile medii sînt calculate ca medie aritmetică a rezultatelor obținute la cîte cinci încercări.

În *figura 19* este redată variația rezistenței la rupere în funcție de conținutul de carbon. Curba trasată este cea corespunzătoare oțelurilor carbon nealiate [10], iar punctele, conform notațiilor de la figură, corespund rezistenței la rupere a materialului de bază nesudat, respectiv a barelor sudate în cele două regimuri pentru cele 4 calități de oțeluri folosite. In *figurile 20* și *21* sînt redate variații analoage pentru limita la curgere respectiv pentru contracție.

Din *tabela 3,* respectiv *figurile 19—21* se observă că nu există diferențe semnificative între caracteristicile materialului nesudat și cele ale epruvetelor sudate în cele două regimuri limită. Acest lucru se explică prin faptul că toate ruperile la tracțiune au avut loc mult înafara sudurii, respectivi zonei influențate termic și deci toate rezultatele obținute sînt de fapt caracteristici ale materialului de bază.

*Tabela 3*

**Caracteristicile mecanice obţinute la încercarea statică la tracţiune a materialului de bază şi a epruvetelor sudate în cele două regimuri**

| Oţelul | Starea | Caracteristici mecanice | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | $\sigma_r$ [kgf/mm²] | $\sigma_c$ [kgf/mm²] | $\delta_{10}$ [%] | $\psi$ [%] |
| I (0,14% C) | Material de bază | 41,0—41,3 / 41,2 | 26,0—29,5 / 27,9 | 26,7—30.7 / 28,9 | 67,0—68,1 / 67,6 |
| | Sudat în MR | 36,0—37,1 / 36,4 | 25,4—29,6 / 27,5 | 23,6—25 7 / 24,7 | 72,0—75,0 / 74,2 |
| | Sudat în DR | 36,9—42,7 / 38,8 | 28,4—29,9 / 29,1 | 23,2—26,9 / 24,0 | 66,5—72,9 / 70,1 |
| II (0,38% C) | Material de bază | 57,7—58,3 / 58,0 | 37,1—38,7 / 38,1 | 15,7—18,7 / 16,8 | 54,6—55,3 / 54,9 |
| | Sudat în MR | 58,9—59,6 / 59,4 | 37,5—38,4 / 38,0 | 18,1—20,0 / 18,6 | 53,8—54,9 / 54,3 |
| | Sudat în DR | 58,4—63,4 / 61,0 | 38,4—41,0 / 39,7 | 15,3—18,9 / 17,5 | 48,6—54,7 / 53,9 |
| III (0,54% C) | Material de bază | 67,7—73,8 / 69,8 | 40,3—42,8 / 41,6 | 16,0—19,4 / 17,6 | 43,7—53,8 / 47,7 |
| | Sudat în MR | 65,3—68,7 / 67,0 | 38,8—41,7 / 40,1 | 12,6—16,0 / 14,4 | 48,2—54,5 / 50,0 |
| | Sudat în DR | 66,6—67,4 / 67,1 | 39,8—43,1 / 41,1 | 13,2—14,9 / 14,0 | 49,6—54,0 / 51,7 |
| IV (0,61% C) | Material de bază | 83,7—87,0 / 85,7 | 47,3—48,6 / 48,0 | 8,5—9,7 / 9,2 | 37,5—41,5 / 39,5 |
| | Sudat în MR | 86,4—88,7 / 87,9 | 48.0—49,4 / 48,8 | 9,0—13,2 / 11,1 | 34,8—40,4 / 37,7 |
| | Sudat în DR | 85.8—88,1 / 87,3 | 47,8—49,2 / 48,6 | — | 36,1—41,2 / 38,6 |

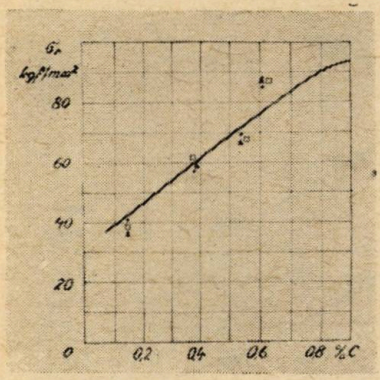



Fig. 19. — Variația rezistenței la rupere $\sigma_r$ în funcție de conținutul în carbon, la oțelurile nealiate [10]:

● valorile medii obținute pentru epruvete nesudate la oțelurile studiate; ▲ valorile medii obținute pentru epruvete sudate în *MR*; □ valorile medii obținute pentru epruvete sudate în *DR*.

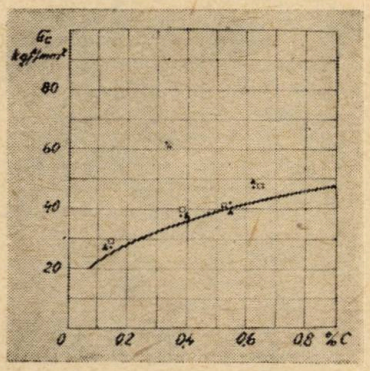



Fig. 20. — Variația limitei la curgere $\sigma_c$ în funcție de conținutul în carbon la oțelurile nealiate [10]:

● valorile medii obținute pentru epruvetele nesudate la oțelurile studiate; ▲ valorile medii obținute pentru epruvete sudate în *MR*; □ valorile obținute pentru epruvete sudate în *DR*.

*4.4.* Rezistența la oboseală față de solicitări alternante s-a determinat pe epruvete conice, avînd în secțiunea de maximă solicitare diametrul de 10 mm. Pentru urmărirea comportării la oboseală a sudurii și a zonei influențate termic, s-a determinat în așa fel conicitatea epruvetelor, încît pe o lungime de 25 mm să se obțină un gradient de tensiune care să permită o variație de ±5% față de tensiunea maximă. Încercările s-au făcut pentru fiecare calitate de oțel și regim de sudare, rezultatele comparîndu-se cu cele obținute pentru materialul de bază, nesudat. În *figurile 22—24* sînt redate curbele Wöhler obținute pentru materialul de bază, respectiv pentru barele sudate în cele două regimuri limită. În *figura 25* este redat domeniul de variație a rezistenței la oboseală prin încovoiere după un ciclu alternant simetric în funcție de conținutul în carbon, la oțeluri nealiate în stare normalizată conform indicațiilor din literatură [9]. Punctele de pe diagramă, conform notațiilor, corespund rezistențelor la oboseală a epruvetelor nesudate respectiv sudate în cele două regimuri limită, în cazul celor patru oțeluri studiate.

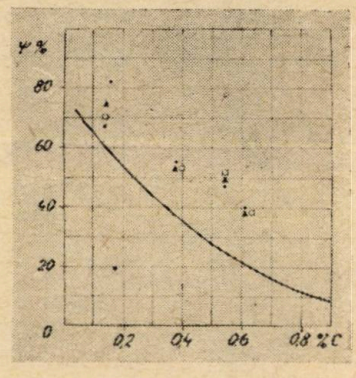



Fig. 21. — Variația contracției $\psi$ în funcție de conținutul în carbon la oțelurile nealiate [10]:

● valorile medii obținute pentru epruvetele nesudate la oțelurile studiate. ▲ valorile medii obținute pentru epruvete sudate în *MR*, □ valorile medii obținute pentru epruvete sudate în *DR*.

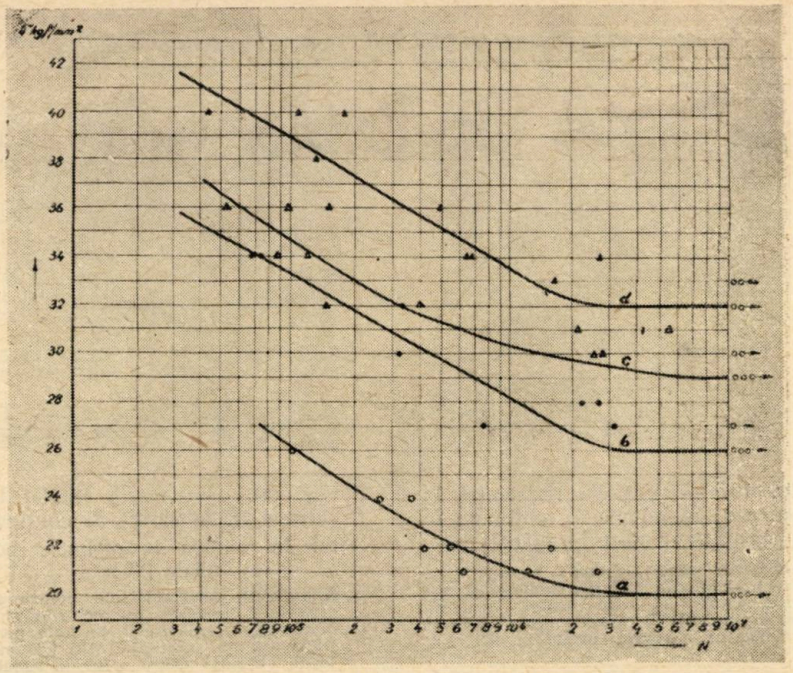



Fig. 22. — Curbele Wöhler pentru materialul de bază (epruvete nesudate):
a — oțel I; b — oțel II; c — oțel III; d — oțel IV.

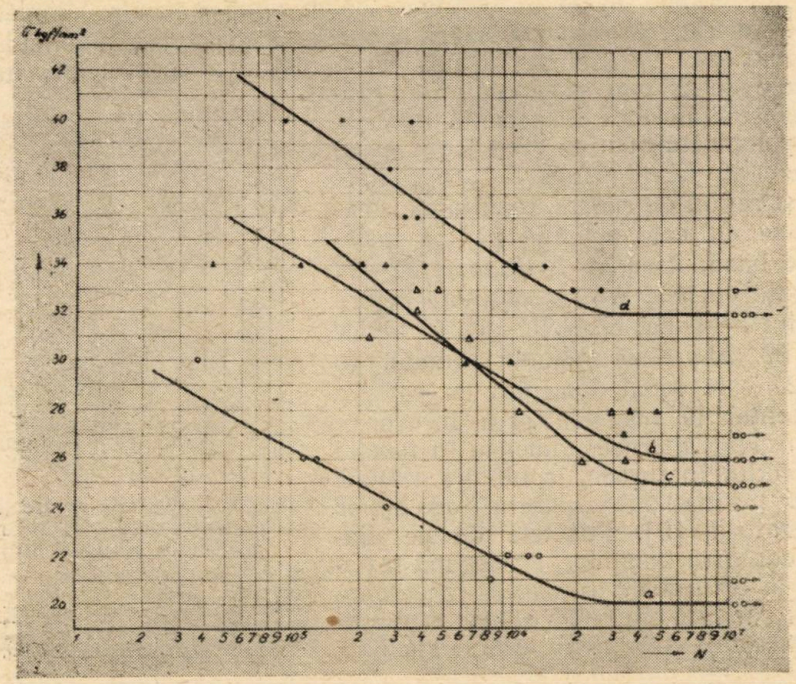



Fig. 23. — Curbele Wöhler în cazul barelor sudate în *MR*:
a — oțel I; b — oțel II; c — oțel III; d — oțel IV.

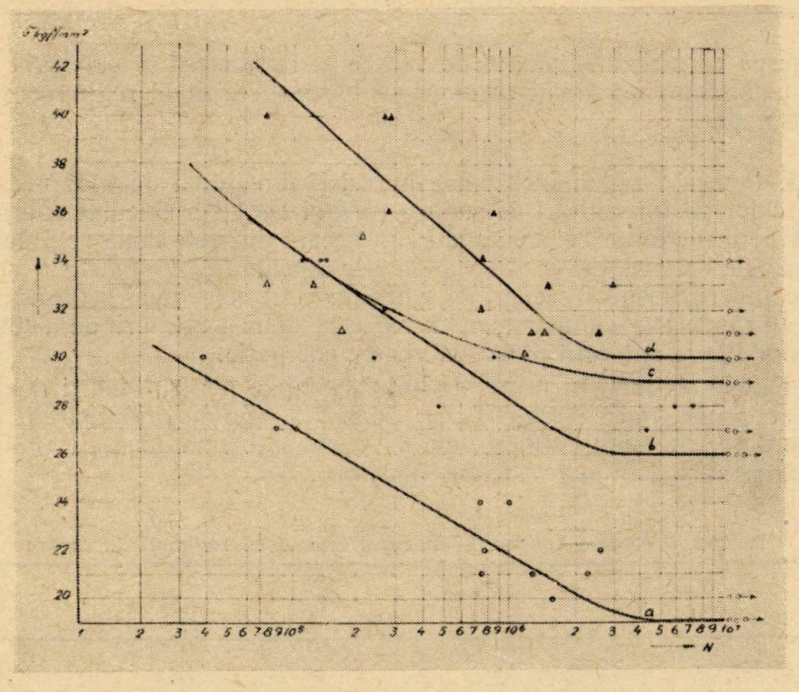



Fig. 24. — Curbele Wöhler în cazul barelor sudate în *DR*:
**a — oțel I; b — oțel II; c — oțel III; d — oțel IV.**

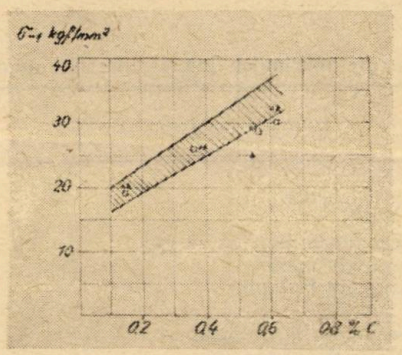



Fig. 25. — Variația rezistenței la oboseală $\sigma_{-1}$ în funcție de conținutul în carbon, la oțeluri nealiate [9]

**● valorile obținute pentru epruvete nesudate, la oțelurile studiate; ▲ valorile obținute pentru epruvete sudate în *MR*; □ valorile obținute pentru epruvete sudate în *DR*.**

Se observă că nici din punctul de vedere al rezistenței la oboseală nu sînt diferențe însemnate între epruvetele sudate în cele două regimuri și materialul nesudat.

*4.5.* Pentru a putea face unele aprecieri din punct de vedere energetic asupra celor două regimuri de sudare (*MR* și *DR*) s-a calculat energia consumată pentru efectuarea unei suduri în fiecare din cele două regimuri, folosind curbele de variație în timp a puterii consumate. În *tabela 5* sînt date valorile puterii, respectiv energiei consumate în cele două regimuri, iar în *tabela 6* rapoartele comparative, între cele două regimuri de sudare, ale mărimlor interesante din punct de vedere energetic.

5. Datele obținute în urma studiului, valabile pentru oțeluri nealiate cu carbon cuprinse între 0,14—0,61%, permit a stabili următoarele condiții suplimentare, necesare atunci cînd se pune problema alegerii unui regim de sudare dintre multiplele variante posibile :

*Tabela 5*

**Puterea și energia consumată în cazul celor două regimuri de sudare**

| | DR | MR |
|---|---|---|
| Puterea consumată la preîncălzire, kw | 42,3 | 19,8 |
| Puterea consumată la topire, kw | 8,0 | 3,2 |
| Energia consumată la preîncălzire, wh/sudură | 21,6 | 89,5 |
| Energia consumată la topire, wh/sudură | 33,4 | 8 |
| Energia totală consumată, wh/sudură | 55,0 | 97,5 |

*Tabela 6*

**Rapoartele comparative ale mărimilor interesante din punct de vedere energetic**

| Nr. crt. | Mărimile raportate | Valoarea raportului DR/MR |
|---|---|---|
| 1 | Curenții la preîncălzire | 1,50 |
| 2 | Curenții la topire | 1,67 |
| 3 | Tensiunile secundare de mers în gol | 1,67 |
| 4 | Puterile consumate maxime | 2,13 |
| 5 | Puterile consumate la topire | 2,50 |
| 6 | Duratele de sudare | 0,50 |
| 7 | Energiile consumate la preîncălzire | 0,241 |
| 8 | Energiile consumate la topire | 4,16 |
| 9 | Energiile totale consumate | 0,564 |
| 10 | Forțele de refulare | 2,0 |

*5.1.* În cazul în care se cere ca sudura să aibe aceleași caracteristici de tracțiune și oboseală ca și metalul de bază și nici o altă condiție suplimentară nu se impune, orice regim de sudare între cele două limite extreme este acceptabil.

*5.2.* Dacă pe lîngă însușirile de mai sus se impun condiții referitoare la omogenitatea structurală, atunci regimurile apropiate de limita dură sînt de preferat.

*5.3.* Din punct de vedere energetic, regimul dur este mai economic decît cel moale, însă aplicarea sa necesită mașini cu putere electrică mai mare și dispozitiv de aplicare a forței de refulare mai puternic.

*5.4.* La aprecierea economicității energetice trebuie avut în vedere și faptul că la regimul dur se pierde mai mult metal. De exemplu, în cazul cercetărilor făcute, la regimul dur s-a consumat cu circa 1,6 ori mai mult metal decît la regimul moale. Corelația între costul metalului pierdut și a energiei electrice economisite permite judecarea în fiecare caz a oportunității alegerii regimului dur.

## BIBLIOGRAFIE


1. Acad. C. Mikloși și colectiv (1965): *Sudarea metalelor*, Ed. tehnică, București.
2. * * * (1956): *Resistance Welding Manual*, vol. I. Resistance Welder Manufacturers' Association. Philadelphia.
3. А. С. Тельман (1960) : *Технология и оброудование контактной электросварки*. Машгиз, Москва.
4. * * * ((1960) : *Справочник по сварке, том 1.* Государственное научно-техническое машиностроительной литературы, Москва.
5. А. Я. Бродский (1961) : *Сварка арматуры железобетонных конструкций.* Госстройиздат Москва.
6. Н. С. Кабанов, Э. Ш. Слепак (1961) : *Технология стыковой контактной сварки.* Машгиз, Москва.
7. А. И. Смирнов (1966) : Построение профиля кулака стыковых машин с электроприводом. *Свраочное производство,* **7.**
8. В. С. Лифшиц, О. С. Папков (1966) : Влиянине закона перемещения изделий в прцоессе оплавления на нагрев при стыковой сварке. *Сварочное производство* **10.**
9. Șt. Nădășan, B. Horovitz, Al. Bernath, V. Safta (1962): *Oboseala metalelor*, Ed. tehnică, București.
10. * * * (1962): *Memorator de metalurgie*. Ed. tehnică, București.

# CÎTEVA PROBLEME ALE SUDĂRII PRIN TOPIRE INTERMEDIARĂ A ȘINELOR DE CALE FERATĂ CU GĂURI DE ECLISARE

T. SĂLĂGEAN, CLARA BOARNĂ, S. MOGA

*Centrul de cercetări tehnice, Timișoara*

La sudarea electrică prin presiune a secțiunilor mari ($> 1\,000\,mm^2$), respectiv a pieselor cu profil complicat, presiunea la refulare nu este constantă pe secțiunea sudată, ceea ce provoacă o deformare plastică inegală. Ca urmare, însușirile mecanice locale variază și aceasta provoacă o scădere a rezistenței la oboseală.

Un asemenea caz se întîmplă la sudarea șinelor de cale ferată, fiind mai accentuat cînd șinele au găuri în care era fixată eclisa. Cercetînd deformarea șinelor sudate fără găuri de eclisare (1), cu găuri (2) și cu găurile astupate (3), se constată că situațiile (1) și (3) au același mod de deformare și deci și rezistență la oboseală practic egală. În situația (2), gaura de eclisă provoacă o scădere a deformației plastice în dreptul ei și rezistența la oboseală scade. În situațiile (1) și (3) șinele sudate au o rezistență la oboseală de 90% din aceea a șinelor nesudate, iar în situația (2) de 80%.

În concluzie, la sudarea electrică prin presiune a șinelor cu găuri de eclisare este bine ca găurile să fie astupate.

În perspectivă sînt necesare cercetări pentru a stabili presiunea la refulare nu numai în funcție de materialul ce se sudează, ci și de secțiunea și profilul pieselor.

1. Este cunoscut faptul că la toate procedeele de sudare prin presiune, forța de rufulare $F_r$ are o influență considerabilă asupra însușirilor mecanice ale îmbinării sudate. Alegerea lui $F_r$ se face în funcție de secțiunea $A$ a pieselor de sudat și de presiunea la refulare $p$, cu relația simplă :

$$F_r = p \cdot A \qquad (1)$$

Acest mod de calcul se bazează pe ipoteza că $F_r$ se repartizează uniform pe secțiunea pieselor de sudat, adică $p$ este același în orice element de suprafață a secțiunii. Din acest motiv, în literatura de specialitate [1], [2], $p$ este dat numai în funcție de materialul pieselor de sudat și, în foarte puține cazuri, se întîlnesc indicații cu privire la alegerea lui $p$ și în funcție de $A$.

Ipoteza repartiției uniforme a lui $F_r$ pe secțiune corespunde cu realitatea la secțiuni relativ mici ($< 1\,000$ mm$^2$) avînd contur simplu ca: cerc, pătrat. La secțiuni mai mari, respectiv secțiuni cu profil complicat, $p$ nu mai este constant pe secțiune, neuniformitatea crescînd cu creșterea lui $A$ și a complexității profilului.

Un asemenea caz îl constituie șinele de cale ferată, care la profilul Vignol și tipul 49 kgf/m, au secțiunea $A=6\,248$ mm$^2$. Într-o lucrare anterioară [3], aceste șine au fost sudate electric prin topire intermediară cu instalația „Taurus" [4] utilizînd $p=3{,}0$; 4,4 respectiv 5,6 kgf/mm$^2$ și ceilalți parametrii ai regimului de sudare fiind aceiași în cele trei cazuri.

Sudurile au arătat aceeași rezistență la încovoiere statică, indiferent de $p$ și anume: la 87 tf și distanța între reazeme 1 050 mm, au atins o săgeată de 30 mm fără să se rupă. Supuse la solicitări pulsatoare între 28 tf și 2 tf la 300 pulsații pe minut, șinele sudate la $p=3$ kgf/mm$^2$ s-au rupt după circa 300 000 pulsații, la $p=4{,}4$ kgf/mm$^2$ după circa 400 000 pulsații și la $p=5{,}6$ kgf/mm$^2$ după circa 700 000 pulsații.

În afară de alte cauze ce determină comportarea susdescrisă și faptul că $p$ nu e constant provoacă o scădere a rezistenței la oboseală. Din cauza conturului șinei, la o încălzire uniformă pe secțiune, inima șinei va fi comprimată mai puțin la refulare decît capul și talpa. Rezultă o deformare plastică mai redusă în dreptul inimii și deci însușiri mecanice variabile pe secțiune, fenomene care influențează negativ rezistența la oboseală [5].

Experiențele descrise au fost efectuate pe șine care nu aveau găuri de eclisare în inimă și a căror compoziție chimică medie a fost următoarea:

$C=0{,}55\ldots0{,}67\%$; $Mn=0{,}60\ldots0{,}78\%$; $Si=0{,}28\ldots0{,}36\%$.

$S<0{,}04\%$; $P<0{,}04\%$; $S+P<0{,}07\%$.

2. În foarte multe cazuri șinele ce urmează a fi sudate au găurile cu care au fost eclisate. Aceste găuri sînt așezate în inima șinei, așa cum se arată în figura 1. Sudarea acestor șine este dificilă din următoarele cauze:

*a.* Între marginea găurii și secțiunea unde se sudează este material puțin, care se încălzește puternic în cursul sudării. La refulare, forța se repartizează mai neuniform decît la șinele cu inima plină deoarece rezistența opusă de material în dreptul găurii de eclisă este mică. În consecință, în dreptul găurii deformarea plastică se reduce mult și, pe secțiunea șinei, neuniformitatea însușirilor mecanice se accentuează.

*b.* Dacă se mărește $F_r$ pentru a compensa scăderea lui $p$ în dreptul găurii de eclisare, atunci se pot ajunge la deformări ale găurii atît de mari, încît să se formeze unghiuri ascuțite. Acestea lucrează ca niște concentratori de tensiune și, la solicitări repetate, se formează fisuri care provoacă ruperea

prematură a șinei. Ca exemplu, se arată în figura 2 asemenea ruperi, survenite după circa *1 an* de funcționare a șinei. Se vede că fisura a pornit din vîrful unghiurilor găurilor deformate peste limitele admisibile, progresînd apoi prin materialul din zona influențată termic.

*c.* Cei ce sudează șine cu găuri de eclisare trebuie să respecte cu strictețe un regim în care *p* este suficient de mare pentru a asigura deformarea materialului necesară în dreptul găurii de eclisă, fără însă a deforma gaura

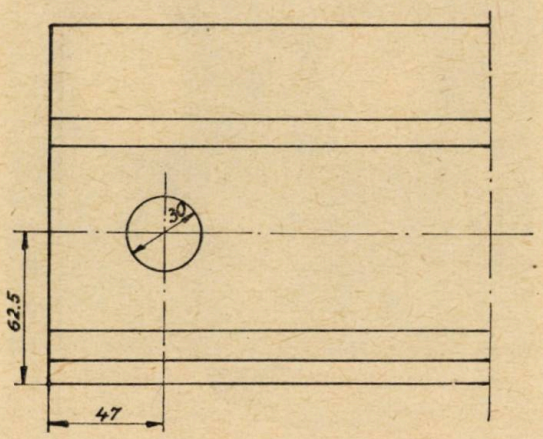
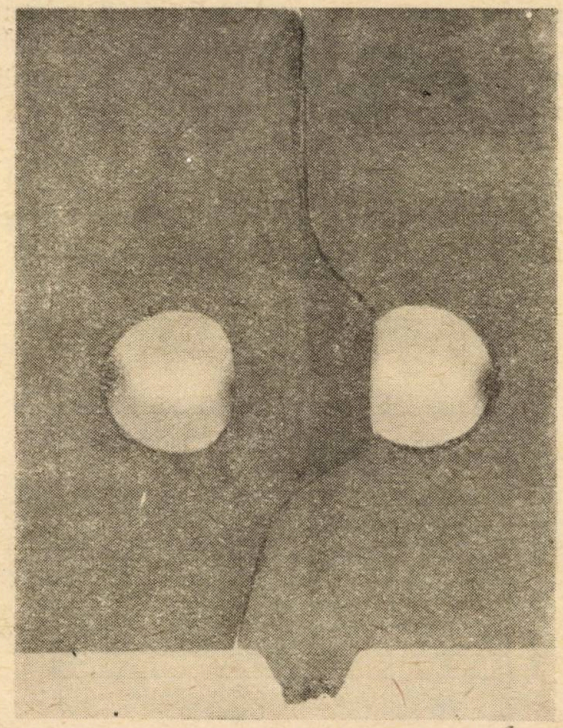


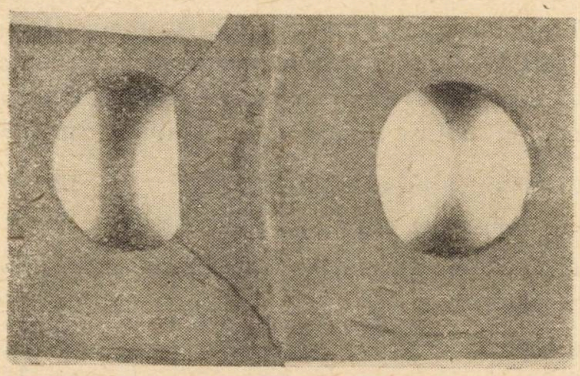

Fig. 1. — Poziția găurilor de eclisare la șinele Vignol de *tip 49 kgf/m*

astfel ca să se formeze unghiuri periculoase: Asemenea regimuri de sudare există, însă parametrii regimului trebuie menținuți între limite restrînse, ceea ce solicită în mod deosebit atenția echipei de sudare. Pentru șinele de care s-a vorbit anterior, regimul de sudare optim, stabilit experimental, este :

| | |
|---|---|
| Numărul ciclurilor la preîncălzire | $18\pm^{2}_{1}$ |
| Durata unui impuls de curent la preîncălzire | $2\pm^{1}_{0}$ s |
| Durata unei pauze de curent la preîncălzire | $2\pm^{1}_{0}$ s |
| Curentul de de preîncălzire | 24 . . . 28 kA |
| Curentul la topire | 7 . . . 8 kA |
| Durata topirii | $50\pm^{2}_{2}$ s |
| Presiunea la refulare | 5,4 kgf/mm² |
| Scurtarea totală | 38 . . . 40 mm |



a



b

Fig. 2. — Ruperi provocate de deformarea găurilor de eclisare

Aceasta solicitare suplimentară nu este convenabilă, sudorul putînd fi tentat să aplice o presiune mai mică decît cea prescrisă pentru a nu deforma găurile de eclisă.

În concluzie, la sudarea șinelor cu găuri de eclisare, se pune problema de a realiza o deformare suficientă a materialului șinei în dreptul găurii, fără ca gaura de eclisare să se deformeze peste limita admisibilă. Așa cum s-a arătat, soluționarea imediată a problemei a fost făcută cu ajutorul regimului de sudare optim stabilit experimental. Această soluție însă nu poate fi socotită definitivă.

3. O soluție posibilă ni s-a părut a fi introducerea înainte de sudare, în găurile de eclisare a unor dopuri de formă cilindrică cu diametrul egal cu cel al găurii, cu înălțimea egală cu grosimea inimii șinei și confecționați din același oțel ca și șina. Acești cilindrii au fost strunjiți cu astfel de toleranțe încît să poată fi introduși în găuri prin ciocănire ușoară.

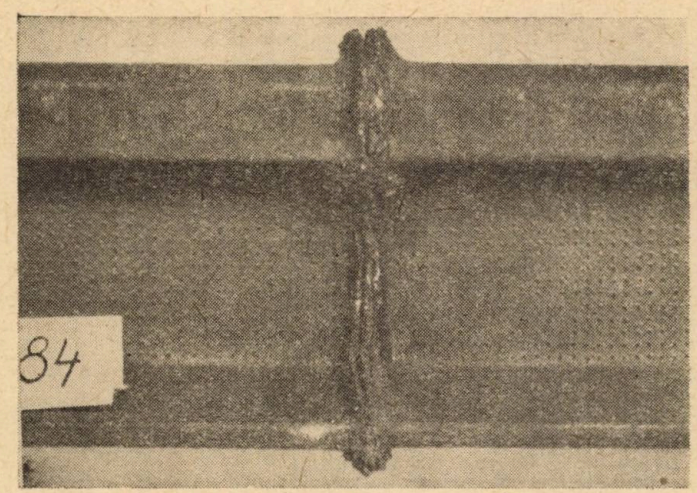
S-au sudat cupoane de șină, de tipul arătat, în regimul de sudare optim în trei variante: șine fără găuri de eclisare (*1*), șine cu găuri de eclisare (*2*) și șine cu găuri de eclisare astupate (*3*).

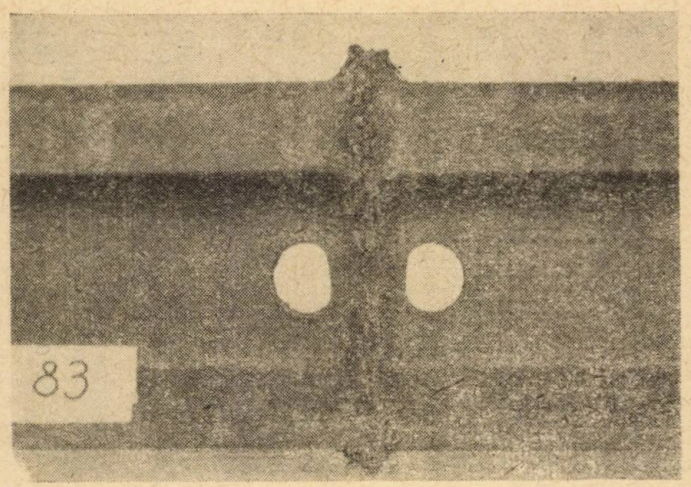
*În primul rînd* s-a urmărit felul cum se deformează inima șinelor. Pentru aceasta, pe inima lor s-a imprimat o rețea de pătrate cu latura de 5 mm. Șinele au fost sudate și a rezultat situația din *figura 3*. În cazurile (1) și (3) nu s-a putut constata o deformare a rețelei de patrate, care să arate că deformația (scurtarea) în regiunea inimii ar fi neuniformă pe secțiune. Aceasta arată că presiunea la refulare $p$ în cazurile (*1*) și (*3*) poate fi socotită constantă pe secțiunea inimii șinei, cu aproximația dată de latura rețelei patratice.

În cazul (*2*) scurtarea la refulare variază în secțiunea inimii șinei conform celor arătate în figura 4, între o valoare practic constantă de 21 mm în afara regiunii găurii și o valoare minimă de 13 mm în dreptul marginii găurii. Aceasta arată că forța la refulare $F$ se repartizează neuniform în raport cu cazurile (*1*) și (*3*), $p$ scăzînd cu circa 37% față de valoarea de palier.

*În al doilea rînd* s-a urmărit comportarea șinelor sudate față de solicitări pulsatoare. Încercări mai vechi [6] au arătat că rezistența la oboseală față de solicitări pulsatorii a șinelor Vignol de tip 49 kgf/m nesudate este de $\sigma_{ob}=26{,}4$ kgf/mm$^2$. Rezistența la oboseală a fost determinată în condițiile arătate la punctul *1*, considerînd că șina rezistă la solicitarea respectivă, dacă depășește $4 \cdot 10^6$ cicluri. Vom folosi această valoare a lui $\sigma_{ob}$ ca cifră de referință. Au fost încercate cîte 8 cupoane de șine sudate pentru fiecare din cele 3 situații.

*a.* Șinele sudate fără găuri de eclisare au $\sigma_{ob}^{(1)}=23{,}7$ kgf/mm$^2$ adică 90% din rezistența la oboseală a șinelor nesudate. Din cele 8 cupoane încercate, 2 s-au rupt la $3{,}7 \cdot 10^6$, respectiv $3{,}9 \cdot 10^6$ cicluri, iar 6 au depășit $4 \cdot 10^6$ cicluri fără să se rupă.



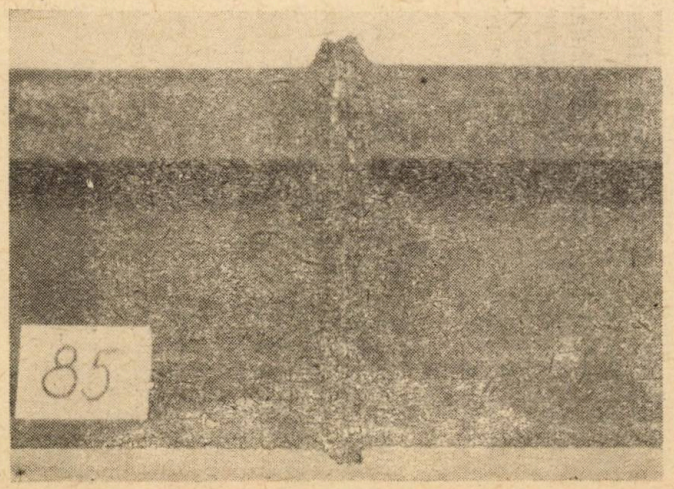




Fig. 3. — Șinele sudate conform cazurilor (1), (2) și (3) cu rețele de pătrate trasate pe inimă

*b.* Șinele sudate cu găuri de eclisare cu $\sigma_{ob}^{(2)} = 21{,}2$ kgf/mm² adică 80% din rezistența la oboseală a șinelor nesudate. Din cele 8 cupoane încercate, 2 s-au rupt la $1{,}03 \cdot 10^6$ respectiv $0{,}90 \cdot 10^6$ cicluri din cauza unor fisuri vechi existente în găurile de eclisare, 1 s-a rupta la $3{,}7 \cdot 10^6$ cicluri, iar 5 au depășit $4 \cdot 10^6$ cicluri fără să se rupă.

*c.* Șinele sudate cu găuri de eclisare astupate au $\sigma_{ob}^{(3)} = 24{,}0$ kgf/mm², adică 91% din rezistența la oboseală a șinelor nesudate. Din cele 8 cupoane încercate, 1 s-a rupt la $1{,}07 \cdot 10^6$ cicluri din cauza unei fisuri vechi în gaura de eclisă depărtată de capul șinei, 3 s-au rupt la $2{,}8 \cdot 10^6$, $3{,}8 \cdot 10^6$ respectiv $3{,}9 \cdot 10^6$ cicluri, iar 4 au depășit $4 \cdot 10^6$ cicluri fără să se rupă.

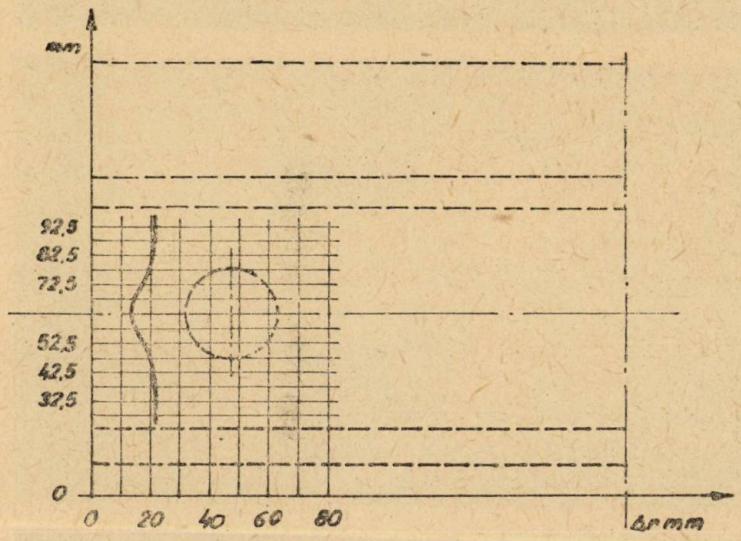
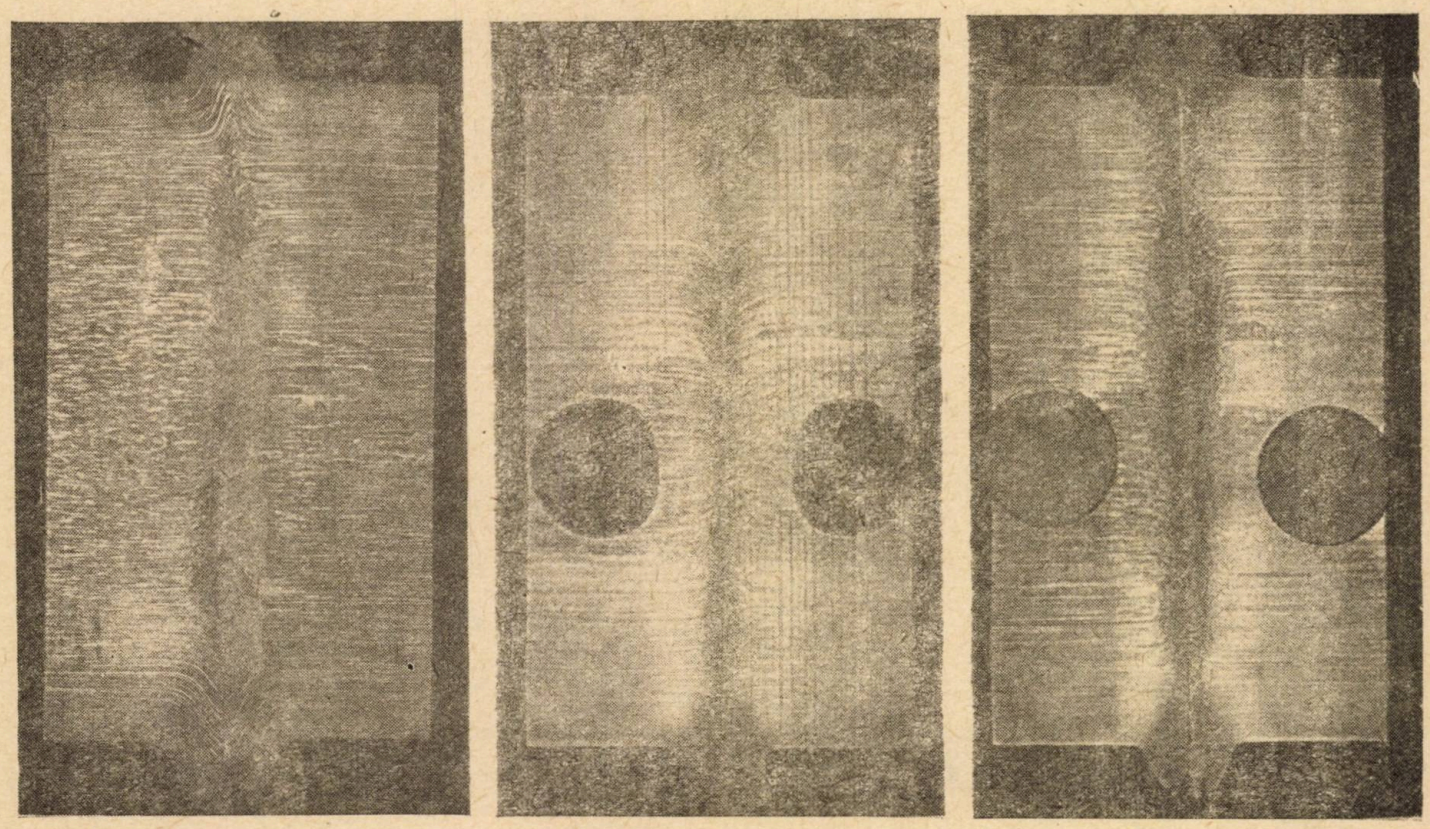



Fig. 4 — Variația scurtării la refulare Δr pe secțiunea inimii șinei în cazul (2)

*În al treilea* rînd s-a urmărit deformarea fibrelor pe macrostructuri atacate corespunzător (figura 5). În situațiile (1) și (3) fibrele se deformează spre exteriorul secțiunii pe distanțe de 25 mm de la ciuperca șinei și de 20 mm de la talpa șinei. Urmează fîșiile de 40 mm, respectiv 30 mm, în care fibrele se deformează spre interiorul secțiunii. Din cauza materialului existent în inima șinei, fie cînd nu sînt găuri (1), fie cînd ele sînt astupate (3), deformarea spre interior este împiedecată și atunci fibrele se deformează perpendicular pe secțiune pe o porțiune de 35 mm, formînd bavură pe inima șinei împreună cu metalul inimii.



1 2 3

Fig. 5. — Macrostructurile șinelor sudate conform cazurilor (1), (2) și (3)

În situația (2) deformarea fibrelor spre interiorul secțiunii se face pe o fîșie mai lată și anume de 50 mm spre ciupercă și 30 mm spre talpă. Această deformare este posibilă acum pentrucă materialul inimii opune o rezistență mai mică din cauza găurii de eclisare, care se deformează în sens contrar cu sensul forței de refulare. Deformarea fibrelor perpendicular pe secțiune se face pe o fîșie mai îngustă (25 mm) decît în situațiile (1) și (3). Acest fenomen se reflectă și în aspectul bavurii pe inima șinei, bavura fiind mai puțin pronunțată.

4. În concluzia celor prezentate se pot afirma următoarele:

*a.* Sudarea șinelor de cale ferată cu găuri de eclisare trebuie făcută fie într-un regim de sudare care să asigure deformarea plastică minim necesară realizării îmbinării, fără însă a deforma găurile de eclisare peste 5 mm pe diametrul paralel cu axa șinei, fie astupînd găurile cu dopuri din același oțel introduse prin ciocănire ușoară.

*b.* Din punct de vedere al rezistenței la oboseală față de solicitări pulsatoare, șinele sudate avînd găuri astupate au practic aceeași rezistență ca și șinele sudate neavînd găuri. Rezistența la oboseală a șinelor cu găuri neastupate sudate în regimul optim este mai mică din cauza deformației plastice mai reduse în dreptul găurilor de eclisare.

*c.* Cazul șinelor de cale ferată relevă importanța unor cercetări mai ample privind alegerea presiunii la refulare atît în funcție de materialul pieselor cît și în funcție de secțiunea și profilul lor. Aceasta, deoarece la secțiuni peste 1 000 mm$^2$, respectiv la profile complicate, presiunea la refulare variază în secțiunea de sudat.

În cursul sudării șinelor cu găurile de eclisare astupate, s-a observat că dopurile se încălzesc mai puțin decît restul materialului. Înseamnă că la refulare ele vor fi mai rigide și vor ajuta deformarea plastică perpendiculară pe suprafața inimii. Poate că, măsurînd cu precizie mai mare, deformarea plastică a inimii cu găuri astupate va fi mai uniformă decît a inimii pline, ceea ce ar îmbunătăți rezistența mecanică și mai ales la oboseală a îmbinării sudate.

S-ar putea să ajungem la concluzia că la orice piese cu profil cu inimă plină, sudarea prin presiune dă rezultate mai bune, dacă, înainte de sudare, facem găuri în inimă apropiate de secțiunea în care se produce sudarea și le astupăm cu dopuri.

BIBLIOGRAFIE

1. C. Mikloși și colectiv (1965): *Sudarea metalelor*. Ed. tehnică, București.
2. ★ ★ ★ *Resistance welding manual*. Ed. A.W.M.A., Philadelphia, 1956.
3. C. Mikloși, C. Boarnă, S. Moga (1964): Influența forței de refulare asupra însușirilor mecanice ale șinelor sudate prin topire intermediară. *Construcția de mașini*, 2, București
4. C. Mikloși (1939): Instalația mobilă pentru sudarea șinelor de cale ferată. *Sudura*, 2, Timișoara.
5. Șt. Nădășan și colectiv (1962): *Oboseala metalelor*. Ed. tehnică, București.
6. ★ ★ ★ (1940): Studiu comparativ al diferitelor procede de sudură aplicate șinelor de cale ferată. *Sudura*, 4, Timișoara.

# STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR ÎN DOMENIUL ÎNCERCĂRILOR NEDISTRUCTIVE. PARTEA I.*

M. GR. NĂSTASE

*Centrul de mecanica solidelor al Academiei Republicii Socialiste România, București*

Lucrarea conține, la început, o succintă prezentare a importanței, scopului și clasificării încercărilor nedistructive, prezentare făcută în contextul general al disciplinei încercărilor de materiale.

În continuare se prezintă studiul și orientarea actuală a cercetărilor, pe plan mondial, în domeniul încercărilor nedistructive cu radiații penetrante (raze X și raze gama) și aceasta cu referire la sursele și aparatele respective, la procedeele de înregistrare, la metodica de control și îmbunătățirea performanțelor (sensibilitatea și productivitatea în detectarea defectelor, automatizarea controlului).

## 1. INTRODUCERE

Importanța încercărilor de materiale a crescut în paralel cu dezvoltarea industriei și în principal a industriei constructoare de mașini, dezvoltare strîns legată de ridicarea continuă a calității metalelor, a caracteristicilor lor mecanice și tehnologice.

Dacă inițial încercările de materiale se rezumau la „probe" de atelier, respectiv încercările tehnologice, treptat însă s-a ajuns la încercările mecanice de rezistență care au permis exprimarea numerică a diverselor caracteristici ale materialelor; în continuare, pentru a mări concludența în aprecierea calității produselor, s-au introdus noi metode de examinare; încercări mecanice speciale, încercări nedistructive etc.

Se poate spune că încercările de materiale au devenit o disciplină cu conținut propriu, avînd însă importante contingențe cu disciplinele: rezistența materialelor, tehnologia materialelor, organe de mașini, precum și cu alte discipline de specialitate (fizică, chimie, metalurgie, electronică etc.).

Noi cercetări, cu aspect fundamental sau aplicativ, vin să se adauge în acest domeniu al încercărilor de materiale, fie prin perfecționarea metodicii de aplicare și a performanțelor la metodele cunoscute, fie prin introducerea de noi metode.

---

*) *Partea II se va publica în nr. 2/1967.*

Încercările de materiale au drept scop :

— Controlul calității produselor, începînd cu controlul materialelor și semifabricatelor înainte și pe parcursul procesului tehnologic de fabricație, controlul produselor finite și controlul acestora în condițiile de exploatare.

— Detectarea existenței eventualelor defecte ale materialelor, pieselor, construcțiilor, mașinilor etc., cercetarea cauzelor care le-au produs și stabilirea gradului în care aceste defecte afectează calitatea, comportarea în serviciu a produselor respective

— Furnizarea de date care să conducă la dimensionări raționale, reducerea greutăților proprii ale mașinilor și construcțiilor, înlocuirea materialelor deficitare, îmbunătățirea permanentă a proceselor tehnologice, ridicarea economicității producției.

— Ajută la elaborarea de normative și standarde privind stabilirea de proprietăți, caracteristici și calități ale diverselor materiale și produse industriale.

— Sprijinirea cercetărilor fundamentale și aplicative prin furnizarea de date referitoare la cunoașterea proprietăților și comportării în serviciu a materialelor.

Încercările de materiale constituie o punte de comunicare între producător și consumator, reprezentînd ca atare un factor activ în ridicarea calității produselor.

Producția este direct interesată în realizarea de produse de calitate, fără defecte, pentru a nu avea pierderi prin rebuturi sau livrare de produse necorespunzătoare către consumatori, pentru a putea face față confruntărilor din ce în ce mai competitive atît pe plan intern cît și pe plan extern. De aceea, în afară de specialiștii din laboratoarele de cercetări, însăși inginerii din proiectare și din producție trebuie să posede cunoștințe despre metodele de încercări, despre posibilitățile și performanțele lor comparative — deoarece pînă în prezent nici una din metode nu s-a putut impune cu exclusivitate — și aceasta pentru a putea prevedea și urmări, cu discernămînt și perseverență, aplicarea în producție a metodelor cele mai adecvate, a introduce în practică cele mai noi rezultate ale cercetării științifice în acest domeniu.

Discuții purtate în cadrul Comisiei de sudură a Academiei R.S.R. au subliniat chiar necesitatea pregătirii în viitor a unor ingineri în specialitatea controlul calității produselor.

In urma consultării bogatei bibliografii de specialitate, a documentelor Comisiei a V-a a Institutului internațional de sudură (I.I.S.), a lucrărilor prezentate la Conferințele de sudură și încercări de metale de la Timișoara, a altor lucrări elaborate de specialiști români apărute în reviste sau în publicații I.D.T. etc. s-a căutat să se selecționeze aspectele importante, esențiale, care să permită furnizarea unei imagini succinte, dar pe cît posibil cuprinzătoare, a stadiului actual al cercetărilor pe plan mondial și în țara noastră în domeniul încercărilor nedistructive cu radiații penetrante.

S-a considerat utilă prezentarea unor elemente și considerații privind controlul calității produselor și defectoscopia nedistructivă, precum și situarea metodelor cu radiații penetrante în contextul general al celorlalte metode de încercări de materiale.

## 2. CONTROLUL CALITĂȚII PRODUSELOR ȘI INCERCĂRILE DE MATERIALE

Calitatea produselor poate fi asigurată, atît prin introducerea metodelor moderne de calcul, utilizarea adecvată a materialelor și proceselor tehnologice avansate, cît și prin folosirea diverselor metode de încercări, de control. Importanța controlului calității nu reiese numai din necesitatea de a răspunde exigențelor crescînde în asigurarea calității produselor, dar și din faptul că poate constitui un mijloc eficace de acționare asupra prețului de cost, a productivității și, în final, asupra rentabilității.

Noțiunea de „control" nu trebuie înțeleasă numai în sensul verificării — prin diferite metode de încercări — a concordanței proprietăților unui produs cu cele prescrise prin norme, standarde etc. și a ne limita ca atare la constatarea că produsul este bun sau rău, ci trebuie reținut și *rolul activ* pe care trebuie să-l aibă „controlul", acela de a cerceta cauzele care determină producția de produse bune sau produse necorespunzătoare și de a tinde în permanență spre perfecționarea proceselor tehnologice respective.

La rîndul său, noțiunea de „calitate" este o noțiune relativă. Ea presupune și un aspect „cantitativ", cifrabil în preț de revenire a calității, dar și un aspect „calitativ", acela care determină progresul calității, trecerea acesteia pe trepte ierarhice tot mai înalte.

Definiția cea mai generală a „calității" este aceea a ansamblului de proprietăți care fac ca un produs să fie apt pentru utilizarea căreia i-a fost destinat. Este evident, de exemplu, că o anumită calitate se va cere pentru oțelul destinat armăturilor de beton, o alta pentru oțelurile de rulmenți și o alta pentru oțelurile destinate construcțiilor de nave cosmice.

În final deci, utilizarea este judecătorul calității.

*Prin prisma acestor considerații trebuie privită deci legătura dialectică dintre controlul calității produselor și utilizarea diferitelor metode de încercări în acest scop.*

Pentru controlul calității produselor, în afară de metodele clasice, bine cunoscute, cum sînt de exemplu : analizele metalografice și chimice, încercările mecanice (statice sau dinamice), încercările tehnologice, de uzură etc., în ultima vreme s-au cercetat și introdus în producție noi metode de control. Aceste metode moderne prezintă avantajul efectuării controlului produselor fără distrugerea lor, ceea ce a condus la conturarea unui nou domeniu al tehnicii : defectoscopia nedistructivă.

Importanța încercărilor nedistructive *) și implicit a cercetărilor ce se întreprind în legătură cu acestea, reise deci din necesitatea tot mai crescîndă pentru asigurarea unei calități corespunzătoare a produselor, prin detectarea eventualelor defecte ascunse ale acestora.

Dacă ne referim îndeosebi la industria metalurgică și a construcțiilor de mașini, existența unor defecte ascunse, interne sau la suprafață, în materialele sau piesele respective, contribuie la micșorarea rezistenței acestora. Dacă mărimea sau numărul acestor defecte (sufluri, retasuri, incluziuni, fisuri etc.) depășesc anumite limite, piesa respectivă poate deveni neacceptabilă în condițiile cerute pentru utilizarea căreia îi era destinată. O astfel de piesă, în timpul solicitării sale, s-ar putea rupe, deforma etc., fapt care ar putea duce la avarii grave.

Detectarea defectelor între diferitele faze ale procesului de fabricație, în afară de asigurarea calității produselor, permite și realizarea de importante economii, prin evitarea de prelucrări ulterioare la piese necorespunzătoare.

Necesitatea controlului defectoscopic devine și mai acută atunci cînd aceste defecte ar putea conduce la accidente care să pună în pericol viața personalului de deservire sau a aceluia care folosește produsul în cauză.

## 3. CLASIFICAREA ÎNCERCĂRILOR DE MATERIALE

Pentru a vedea care este locul ocupat de încercările nedistructive cu radiații penetrante în contextul general al încercărilor de materiale este necesar să ne referim succint la clasificarea acestora.

Evident, există diferite moduri de a clasifica aceste încercări și aceasta datorit criteriilor de bază avute în vedere.

— O primă clasificare ce se practică în prezent este următoarea :

a. *Încercări mecanice* care se referă la determinările privind comportarea metalelor, în anumite condiții de solicitare mecanică.

La rîndul lor aceste încercări se clasifică — conform STAS 6967-64 — în funcție de următoarele criterii : felul caracteristicilor examinate, tipul solicitării, modul de acționare a solicitării și temperatura la care se execută încercarea.

b. *Încercări fizice* care se referă fie la determinarea unor parametri fizici ai materialelor : proprietăți magnetice, termice, electrice, greutatea specifică, densitatea etc., fie că metodele respective de încercări au la bază utilizarea

*) *S-a folosit terminologia de „încercări nedistructive", așa cum se folosește și în alte țări (de ex. „essais destructifs" și „essais nondestructifs"), avînd în vedere conținutul însăși al metodelor respective, terminologia de „control nedistructiv„ referindu-se la scopul, destinația acestor metode.*

unui anumit fenomen fizic : încercările cu radiații penetrante, cu ultrasunete, încercările magnetice sau electromagnetice, fotoelasticitatea, electrotensometria, cromoplasticitatea etc.

c. *Încercări metalografice* care se referă la determinarea structurii materialelor, a efectului tratamentelor termice și termochimice, microdensitatea etc.

d. *Încercări chimice* care se referă la analizele chimice, analizele spectrale, coroziunea și protecția contra coroziunii materialelor.

— *Un alt mod de a clasifica* aceste încercări poate fi acela care pornește de la scopul, de la ceea ce se urmărește să se obțină prin aplicarea lor : *încercări pentru determinarea caracteristicilor de rezistență sau a celor tehnologice, încercări pentru determinări structurale și încercări pentru determinarea defectelor din materiale.*

— Iar după cum încercarea respectivă conduce sau nu la distrugerea piesei ce se încearcă, aceste încercări se mai pot clasifica în două mari categorii : *distructive* și *nedistructive.*

## 4. METODELE DE DEFECTOSCOPIE NEDISTRUCTIVĂ

Se vor prezenta succint diferitele metode de defectoscopie nedistructivă pentru a se putea vedea poziția lor comparativă, ca avantaje și dezavantaje, ca limite de aplicare și ca tendințe actuale pe linia perfecționării lor.

### 4.1. Metoda vizuală

Metoda vizuală este cea mai veche metodă cunoscută și uneori se pot obține rezultate adecvate dacă este bine folosită. Multe din metodele menționate ulterior cuprind de altfel ca parte integrantă examinarea vizuală și în cele mai multe cazuri acesta este aspectul lor cel mai critic. Deseori se folosesc lentile cu o mărime de pînă la 5—8× (binocluri). Este necesară o lumină bună, fără strălucire, fără umbre și reflexii.

### 4.2. Metoda cu lichide penetrante

Cele trei tipuri principale ale acestei metode sînt : cu ulei cald și cretă, cu lichide penetrante cu coloranți și cu lichide fluorescente. Prin această metodă se pot detecta defecte deschise la suprafața pieselor.

Cercetările efectuate în ultimii ani au fost axate pe mărirea sensibilității de descoperire a defectelor, pe perfecționarea aparatajului și, ceea ce este mai important, au permis automatizarea acestei metode de control pentru unele produse.

### 4.3. Metoda prin corodare chimică

Corodarea chimică, prin utilizarea — după caz — de substanțe acide, alcaline sau electrolitice, constă în acțiunea chimică de îndepărtare a materialului, mai ales în regiunea defectelor și ca atare deci metoda nu este complet nedistructivă. Corodarea chimică constituie un mijloc foarte bun pentru detectarea fisurilor și poate indica defecte de suprafață ascunse care nu pot fi observate normal cu ajutorul penetranților ; defectele sînt deschise de acțiunea chimică acolo unde înainte nu exista posibilitatea pătrunderii penetranților.

### 4.4. Metoda termică

Această metodă este specifică pentru controlul calității unor produse la care se cere să existe o legătură intimă între două materiale diferite, de exemplu legătura dintre combustibilul nuclear și învelișul respectiv la reactoarele nucleare, legătura dintre învelitoarea unui motor rachetă și combustibilul respectiv etc.

Se măsoară fluxul energiei transmis prin piesa ce se controlează și care va fi afectat de existența eventualelor discontinuități.

### 4.5. Metoda magnetică cu pulberi

Această metodă se aplică la piese magnetizabile și se bazează pe faptul că defectele au o permeabilitate magnetică mai mică decît restul materialului și în consecință deformează cîmpul magnetic, iar la suprafața piesei sau la adîncimi mici această deformare cauzează un cîmp de scurgere care este suficient de puternic ca să atragă particulele fine ale unei pulberi feromagnetice presărată pe suprafața piesei. Acumularea de particule indică defectul care poate fi o fisură, o incluziune de zgură, segregație sau schimbarea de structură.

Metoda magnetică cu pulberi, cînd este bine aplicată, prezintă o mare sensibilitate la detectarea fisurilor.

### 4.6. Metode electromagnetice

#### 4.6.1. Metoda cu ferosonde

Această metodă constă în detectarea și măsurarea cîmpurilor magnetice mici sau ale gradienților lor cu ajutorul ferosondelor (o bară magnetică aflată în interiorul unei bobine străbătută de un curent alternativ). Folosirea metodei ferosondelor are perspective largi în domeniul descoperirii discon-

tinuităților (defectelor) materialului în produsele feromagnetice. Un avantaj esențial al acestei metode, în comparație cu metoda magnetică cu pulberi, constă în capacitatea sa de a detecta defecte dispuse la distanțe relativ mari de la suprafața piesei. În străinătate au fost elaborate și se folosesc cu succes mai multe tipuri de defectoscoape cu ferosonde. Această metodă se pretează ușor la automatizare.

#### 4.6.2. Metoda magnetografică

Și această metodă se bazează pe folosirea scăpărilor magnetice care apar în locurile în care se află defecte ale piesei magnetizate. Spre deosebire de celelalte metode, înregistrarea cîmpurilor de scăpări se face cu ajutorul unei benzi feromagnetice de tipul folosit pentru înregistrarea magnetică a sunetelor. Se folosește de obicei pentru controlul cusăturilor sudate executate prin sudare automată, care au o suprafață suficient de netedă.

#### 4.6.3. Metoda cu electromagnet și bobine de inducție

La această metodă, traductorul defectoscopului este format dintr-un electromagnet în formă de potcoavă, alimentat cu curent alternativ de 50 Hz și din două bobine de inducție conectate în opoziție, dispuse între polii acestui electromagnet ; prezența unui defect provoacă apariția unei tensiuni electromotoare care este amplificată și trimisă la un aparat magnetoelectric.

Cu ajutorul acestei metode se pot detecta atît defecte izolate mari, alungite, cît și lanțuri de pori, fisuri și sudări incomplete ; nu permite însă precizarea caracterului și nici a adîncimii la care se află defectele și — în acest sens — se completează cu metoda cu radiații penetrante.

#### 4.6.4. Metoda curenților turbionari

În defectoscopia modernă, metoda curenților turbionari ocupă un loc important. Această metodă se bazează pe producerea unor curenți turbionari în porțiunea controlată a piesei și studierea acțiunii inverse a acestor curenți asupra bobinei inductoare (de excitație primară) care poartă curenți de frecvență mare sau asupra unei alte bobine (secundare).

Numărul mare de parametri care pot influența caracterul curenților turbionari în piesa controlată arată atît posibilitățile mari ale acestei metode cît și dificultățile legate de aplicarea ei practică. În ultimii ani, în străinătate, s-au efectuat ample cercetări teoretice și experimentale și au fost elaborate aparate bazate pe metoda curenților turbionari și destinate controlului barelor, țevilor, sîrmelor etc.

— Metodele electromagnetice au un mare cîmp de investigare și se pretează ușor la automatizare ; deși mai necesită noi studii și cercetări pentru

a se ajunge la aplicarea lor pe scară largă în practică, s-au realizat totuși unele aparate specifice de defectoscopie. Aceste aparate trebuie concepute însă diferențiat în funcție de metodă, natura produselor ce se controlează și influențarea parametrului electromagnetic numai de către factorul care ne interesează a fi detectat.

### 4.7. Metoda ultrasonică

Dintre diferitele procedee de defectoscopie ultrasonică, instalațiile moderne folosesc procedeul impulsurilor, la care undele ultrasonice sînt transmise în piesă sub formă de impulsuri scurte, iar undele reflectate sînt recepționate în pauzele dintre impulsuri. Acest procedeu permite folosirea unui singur traductor — și ca emițător și ca receptor — și poate localiza poziția defectului în plan și adîncime, deoarece se poate regla prinderea impulsului de emisie și a ecoului de fund pe scara gradată a oscilografului (*fig. 1*).

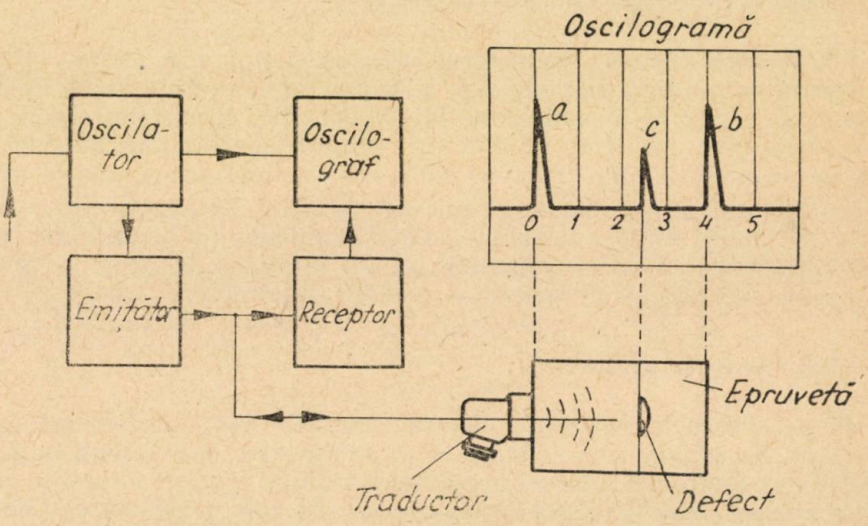



Fig. 1

Controlul ultrasonic poate avea o utilizare largă, reclamă un cost redus, iar sensibilitatea determinării este foarte bună. Domeniul său de aplicare rămîne în principal acela al pieselor de dimensiuni mari și forme simple (regulate). Controlul ultrasonic cu explorare prin contact devenind greoi în cazul suprafețelor mari, în ultimul timp, s-a dezvoltat metoda explorării prin scufundare, care asigură controlul complet al piesei și se pretează ușor la automatizare.

Un dezavantaj esențial al metodei ultrasonice rezidă în dificultatea determinării precise a formei și naturii defectului (cu excepția metodei vizualizării). Din acest punct de vedere, metoda ultrasonică se completează cu cea a radiațiilor penetrante.

### 4.8. Metoda cu radiații penetrante

După cum se știe, controlul nedistructiv, după această metodă, se bazează pe legea absorbției radiațiilor penetrante (raze X și raze gama) în materialul piesei. Astfel, porțiunile cu defect, permițînd trecerea unei intensități diferite față de restul piesei, vor produce înregistrări diferențiate pe detectorul respectiv (film etc.). În *figura 2* se arată schema de principiu a metodei de control cu raze X (1 — tubul Roentgen ; 2 — razele X ; 3 — piesa

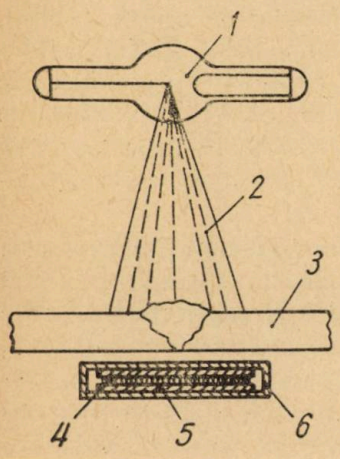



Fig. 2

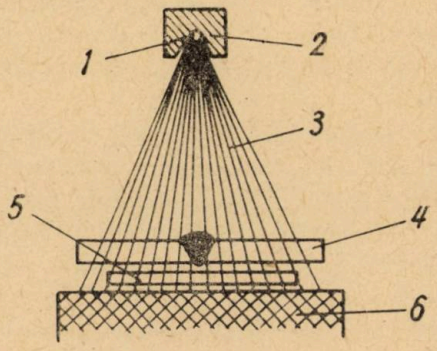



Fig. 3

de control ; 4 — filmul ; 5 — ecrane intensificatoare ; 6 — casetă), iar în *figura 3* schema de principiu a metodei cu raze gama (1 — sursa radioactivă ; 2 — bloc (conteiner) de protecție din plumb ; 3 — razele gama ; 4 — piesa de controlat ; 5 — înregistrator (film etc.); 6 — suport).

## 5. STADIUL ACTUAL PE PLAN MONDIAL IN DOMENIUL INCERCARILOR NEDISTRUCTIVE CU RADIAȚII PENETRANTE

Controlul nedistructiv al calității materialelor și produselor industriale cu ajutorul radiațiilor penetrante rămîne deocamdată metoda cu cea mai largă aplicare, atît în țara noastră cît și în alte țări. Această metodă este deosebit de utilă pentru controlul pieselor turnate și îmbinărilor sudate.

Orientarea cercetărilor actuale în defectoscopia cu raze X și gama este îndreptată către *mărirea sensibilității și productivității* acestor metode și către *automatizarea controlului.*

Drept principale realizări obținute în ultima vreme în cadrul acestei metode, trebuie considerate elaborarea unui nou procedeu de control cu raze X la care se folosesc convertizoarele electronooptice, xerografia, aparatele de ionizare, îmbunătățiri în tehnologia de expunere etc., precum și crearea unor noi aparate Roentgen și a unor noi instalații pentru controlul cu raze gama, care permit controlul materialelor ușoare și grele, cu grosime mare și mică. De asemenea prezintă interes și se fac cercetări în legătură cu controlul materialelor de grosime mare cu ajutorul radiațiilor betatroanelor.

In străinătate, cercetările în domeniul încercărilor nedistructive se efectuează în cadrul laboratoarelor aparținînd : academiilor de științe (URSS, RPP); institutelor de învățămînt superior (RPP, SUA, RFG, RDG); institutelor de sudură (URSS, RPP, RSC, RDG, Franța, SUA, RFG); alte institute de cercetare de nivel departamental (URSS, Franța, SUA); întreprinderile constructoare de aparate pentru controlul nedistructiv (RPP, în special însă în SUA, Anglia, RFG); întreprinderile care execută, la cerere, controlul nedistructiv (SUA, Belgia).

Rezultatele directe ale lucrărilor de cercetare sau cele obținute în urma aplicării în practică sînt publicate în diverse reviste de specialitate — al căror domeniu de specialitate este beneficiar al defectoscopiei nedistructive — de exemplu în revistele de sudură (Svarocinoe proizvozdva — URSS, Prezeglad spalvahiteva — RPP, Schweisstechnik — RDG, Soudage et techniques connexes — Franța etc.), sau în reviste cu profil exclusiv de încercări nedistructive (Materials evaluation — SUA, Buletin for nondestructive testing). De asemenea, rezultatele diferitelor lucrări de cercetare se prezintă și se discută în cadrul manifestărilor științifice organizate periodic de unele asociații de specialitate (Society for nondestructive testing — SUA și Japonia, British Society for nondestructive testing — Anglia etc.), precum și în cadrul Adunărilor generale anuale ale Institutului internațional de sudură, la congresele internaționale de încercări nedistructive, organizate din trei în trei ani etc.

### 5.1. Metoda cu raze X

Extinderea și eficiența controlului cu raze X în industrie depind de nivelul de dezvoltare a construcției de aparate Roentgen și a procedeelor de înregistrare a imaginii.

5.1.1. Sursele de raze X — Aparate Roentgen

Aparatele actuale, care servesc drept surse de raze X, trebuie să îndeplinească două cerințe fundamentale: putere de radiație mare și pată focală mică. O îmbinare judicioasă a acestor cerințe generale permite să se mărească la maximum sensibilitatea și productivitatea oricărui procedeu de înregistrare a imaginii (fotografică, vizuală, xerografică și radiometrică).

În unele țări (SUA, URSS, Anglia, RFG, Franța etc.) construcția de aparate și procedeele de înregistrare a defectelor au atins succese remarcabile.

În acest sens, prezintă interes aparatele pentru 1 și 2 MeV, folosite în străinătate și în special aparatele „Westinghause" care lucrează după schema cu transformatori de rezonanță sau cu generatoare electrostatice de tip Van de Graaf. Este de remarcat la aceste aparate focalizarea îngustă a tuburilor. La aparatele cu transformator de rezonanță pentru 1 MeV, la un curent de 3 mA, diametrul petei focale este de 3 mm; la aparatele cu generatoare electrostatice, la tensiunea de 1 MeV și un curent de 1 mA, diametrul petei focale este de 0,25 mm, iar la cele de 2 MeV, la un curent de 0,25 mA, diametrul petei focale este de 1 mm.

Datorită acestei focalizări înguste este posibilă obținerea unor imagini cu sensibilitate mare de detectare a defectelor; în intervalul de grosimi ale oțelului de la 10 la 100 mm, sensibilitatea variază de la 2 la 1%. O sensibilitate atît de mare nu poate fi obținută în cazul unei energii echivalente a razelor gama emise de Co-66.

O orientare comparativă a timpului de expunere și a sensibilităților la diferite surse de raze X și gama este dată în tabela 5.1. [55].

Din această comparație se vede avantajul aparatelor Roentgen de 1 și 2 MeV față de aparatele cu surse de Co-60.

În defectoscopia industrială, radiațiile Roentgen dure capătă o aplicare tot mai largă.

Pentru controlul pieselor a căror grosime depășește însă posibilitățile aparatelor de 1 și 2 MeV și a celor cu Co-60, este rațional să se folosească betatroanele. Penetrabilitatea mare a radiației superdure a betatroanelor și orientarea favorabilă a radiației difuzate permit să se controleze piese metalice de mare grosime (pînă la 500 mm), cu o sensibilitate suficient de ridicată (0,5—1%).

Considerațiile teoretice arată că energia optimă a cuantelor de radiație a betatronului, folosit pentru defectoscopie, se găsește în domeniul 20 MeV. În străinătate se fabrică de acum diferite tipuri de betatroane mobile, cu comandă electronică la distanță.

O proprietate prețioasă pentru defectoscopie a betatroanelor constă în aceea că pata focală obținută pe țintă este de dimensiuni foarte mici, ceea ce permite obținerea unor fotografii foarte clare, cu sensibilitate mare.

În afară de fotografiile obișnuite, cu betatronul se pot obține și fotografii stroboscopice (ex. betatronul firmei Brown Boveri).

*Tabela 5.1*

| Felul radiației | Grosimea oțelului | Distanța focală mm | Timpul de expunere | Sensibilitatea |
|---|---|---|---|---|
| Raze X | 25 | 900 | 3 min | 1 |
| 250 kV max. | 50 | Practic neraţional | | |
| | 75 | „ | „ | |
| | 100 | „ | „ | |
| Raze X | 25 | 900 | 2,5 min | 1—1,25 |
| 400 kV max. | 50 | 900 | 15 min | 1 |
| | 75 | Practic neraţional | | |
| | 100 | „ | „ | |
| Raze X | 25 | 3 000 | 2 min | 1—0,5 |
| 1 MeV | 50 | 900 | 25 sec | 1—0,25 |
| | 75 | 900 | 2,5 min | 1 |
| | 100 | 1 500 | 8 min | 0,75 |
| Raze X | 25 | 900 | 1—1,5 min | 2 |
| 2 MeV max. | 50 | 900 | 25 sec | 1—0,5 |
| | 75 | 900 | 2 min | 1 |
| | 100 | 1 500 | 12 min | 0,75 |
| Co-60 | 25 | 900 | 3 ore | 2 |
| Mărimea sursei 6×3 | 50 | 900 | 9 ore | 2 |
| 480 m roentgeni/h la 1 m | 75 | 900 | 20 ore | 1 |
| | 100 | 900 | 48 ore | 1 |
| Co-60 | 25 | 900 | 7 ore | 2 |
| 3×3 mm | 50 | 900 | 15 ore | 2 |
| 250 m roentgeni/h la 1 m | 75 | 900 | 32 ore | 1 |
| | 100 | 900 | 74 ore | 1 |
| Radiu (Ra) | 25 | 900 | 40 ore | 2 |
| 200 mg | 50 | 900 | 32 ore | 1—0,75 |
| | 75 | 900 | 80 ore | 1 |
| | 100 | 900 | 160 ore | 1 |

Cercetările întreprinse în ultima vreme au dovedit deci avantajele controlului nedistructiv cu ajutorul betatroanelor, atît în ce privește sensibilitatea de detectare a defectelor cît și productivitatea ; sensibilitatea este — pentru aceeași grosime de oțeluri — mai mare decît cea a aparatelor Roentgen și simțitor mai mare decît cea a radiografiilor cu raze gama ; productivitatea — prin micșorarea duratei de expunere — este de mii de ori mai mare decît în cazul aparatelor cu Co-60.

Cu toate aceste avantaje, betatroanele sînt încă insuficient folosite în industrie. Se poate presupune că, într-un viitor apropiat, necesitatea contro-

lării îmbinării pieselor din oțel cu grosimi pînă la 500 m, obținute prin sudare electrică sub strat de zgură, va constitui un impuls pentru folosirea mai largă a betatroanelor.

Cele mai răspîndite aparate Roentgen industriale sînt cele cu tensiunea de 50—300 kV. Aparatele din această categorie de tip staționar se folosesc de obicei în laboratoare. Cea mai mare răspîndire în SUA, Germania, URSS, Anglia, Franța, Suedia, Ungaria și alte țări o au însă aparatele portabile pentru lucru în condiții de teren. La aceste aparate, părțile de înaltă tensiune sînt legate cu panoul de comandă printr-un cablu de joasă tensiune, ceea ce elimină deci necesitatea cablului de înaltă tensiune care prezintă greutăți în exploatare.

Este de reținut că dintre aceste aparate, s-au impus în ultimul timp, în toate țările, cele prevăzute cu anod tubular scos în afară, care asigură o productivitate mare la controlul îmbinărilor sudate inelare și a pieselor goale, expunerea putîndu-se face de la interior către exterior. La aceste aparate pata focală fiind mică (1—3 mm) radiografiile obținute sînt de calitate și sensibilitate satisfăcătoare. In SUA, astfel de aparate se construiesc de firmele Westinghouse, Norelco și altele. Uzina „Mosroentgen" — URSS — fabrică un aparat (tip RUP-4) prevăzut cu un tub de 200 kV, la un curent de 15 mA, cu anod tubular scos în afară, cu emisiune inelară și cu o pată focală de 2—3 mm.

Pentru controlul maselor plastice și aliajelor ușoare sînt necesare raze X moi, de mare intensitate. La construirea tuburilor destinate în acest scop a trebuit să se țină seamă și de absorbția unei părți din radiație de către materialul peretelui ferestrei. Această absorbție a putut fi adusă la minim prin folosirea beriliului ca material pentru confecționarea ferestrei.

#### 5.1.2. Procedee de înregistrare a imaginii. Metodica de control și îmbunătățirea performanțelor. Procedeul de înregistrare vizuală

In SUA este mult dezvoltat și aplicat procedeul de radioscopie vizuală, așa cum rezultă din o serie de articole publicate în revistele de specialitate [22], [25], [47]. Dacă în timpul primei jumătăți a celui de-al doilea război mondial sensibilitatea procedeului vizual (înregistrarea imaginii pe ecrane fluorescente) se considera mai mare de 7%, în ultimii ani tehnica fluoroscopică și aparatura din SUA s-a perfecționat mult, astfel că sensibilitatea acestui procedeu se apropie de cea a metodei fotografice. Perfecționările obținute au depins în primul rînd de calitatea tuburilor Roentgen (cu pată focală cît mai mică) și a ecranelor fluoroscopice.

Se cere ca ecranele să dea o lumină strălucitoare și în același timp să asigure o mare claritate a imaginii ; aceste condiții, pînă la un anumit grad, sînt contradictorii.

In prezent, în industria SUA se folosesc instalații cu strălucire mărită și instalații cu claritate mărită. Primele instalații se folosesc deobicei pentru detectarea defectelor grosiere, dat fiind că sensibilitatea obținută este mică.

avînd însă avantajul că sînt simple și costul e mai scăzut. Cel de-al doilea fel de instalații se folosesc pentru detectarea defectelor mici ; sînt prevăzute cu tuburi speciale de 140 kV cu anod rotitor și diametrul petei focale de circa 1 mm [47].

Posibilități absolut noi s-au deschis pentru metoda vizuală și pentru mecanizarea și automatizarea controlului materialelor cu ajutorul razelor X, odată cu apariția și folosirea convertizoarelor electrono-optice. În ultimii ani, în lucrările apărute în străinătate, se acordă o mare atenție acestei probleme.

Construcția și schema de funcționare a unui convertizor electrono-optic (amplificator de claritate) sînt reprezentate în figura 4 (1 — razele X ; 2 — îmbinare sudată ; 3 — ecran de aluminiu ; 4 — ecran Roentgen (fluorescent); 5 — fotocatod ; 6 — ecranul de observare ; 7 — sistem optic ; 8 — foto-electroni ; 9 — lumina de pe ecranul de observare).

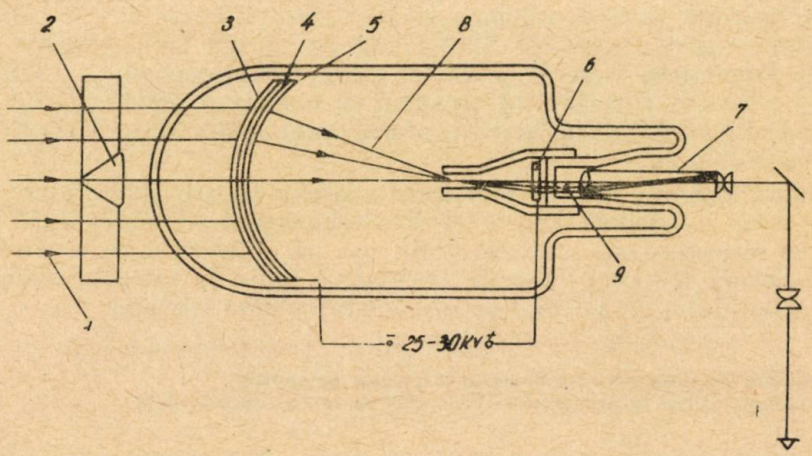



Fig. 4

Strălucirea imaginii obținută cu ajutorul convertizorului electrono-optic este de circa 1 000 ori mai mare decît cea obținută pe un ecran fluorescent obișnuit.

Aparate bazate pe acest principiu au fost livrate pentru prima oară de firma Westinghouse (SUA) acum cîțiva ani. Între timp, firma General Electric din SUA și firma Philips au perfecționat aceste aparate, mărind mult strălucirea și capacitatea rezolutivă a ecranului imaginii secundare. Firma Marconi Instruments (Anglia) a prelucrat o variantă de amplificator al imaginii roentgen care însă principial nu diferă de cel descris. Firma germană C. H. F. Müller Aktiengesellschaft, folosind un amplificator de strălucire Philips și tuburi proprii, a livrat instalații — pentru controlul industrial — de două tipuri : cu sistem optic și cu sistem de televiziune.

S-a putut trece astfel la automatizarea controlului.

În URSS s-au realizat două tipuri de convertizoare electrono-optice (tip VEI cu ecran de 40 mm și tip VEI cu ecran de 125 mm), făcîndu-se studii asupra sensibilității de detectare a defectelor la piese din oțel de aluminiu, în comparație cu sensibilitatea obținută la metoda radiografică [67].

Instalațiile cu convertizor electrono-optic pot fi folosite pentru controlul cusăturilor sudate, a pieselor turnate, controlul poziției și comportării mecanismelor închise (roți dințate, piston-cilindru, relee, întrerupătoare etc.), urmărirea procesului de umplere a buteliilor cu lichid etc.

În trecut, fluoroscopia nu și-a găsit o aplicare largă datorită strălucirii insuficiente a ecranului. Convertizorul electrono-optic și realizările obținute în televiziune aduc posibilități cu totul noi și importante în acest domeniu în care se întreprind încă cercetări.

## PROCEDEUL DE INREGISTRARE XEROGRAFICA

Unul din procedeele de perfecționare a tehnicii controlului produselor industriale cu ajutorul razelor X constă în înregistrarea imaginii obiectului controlat prin metoda xerografică. Această metodă permite obținerea unei sensibilități de descoperire a defectelor apropiată de cea a metodei radiografice, micșorînd însă costul controlului cu raze X. Metoda constă în proprietatea razelor X de a descărca semiconductori static încărcați și aplicați pe suporți metalici. Detalii asupra metodei sînt date în literatura de specialitate [20], [67].

Metoda a fost propusă pentru prima dată de Carlson, în 1937. Una din primele comunicări asupra folosirii cu succes a acestei metode în industrie a fost făcută, în 1944, de Shafferd (SUA), iar mai tîrziu, în 1950, de Master [55]; în prezent firma General Electric face deja reclamă pentru aparatură care permite aplicarea metodei xerografice. Cercetări și realizări în această direcție există și în Anglia [32] și în URSS [54].

Marele avantaj al acestei metode constă în faptul că încărcarea și developarea se poate face într-un timp foarte scurt (1 la 2 min); aceeași placă poate servi pentru un număr mai mare de radiografii, deoarece pulberea electrizată pentru imprimarea imaginii se poate curăța ușor cu o perie, placa fiind gata pentru ciclul următor de fotografiere ; nu se cere o cameră specială pentru developare.

Din cercetările întreprinse pînă în prezent și din lucrările de specialitate publicate în legătură cu această metodă, rezultă totuși că se găsește încă în stadiul de elaborare, posibilitățile ei nefiind complet valorificate ; prezintă însă o importanță de perspectivă pentru defectoscopia cu radiații penetrante (raze X și gama).

## PROCEDEUL DE ÎNREGISTRARE RADIOMETRICA

Un alt procedeu de înregistrare pentru detectarea defectelor cu ajutorul radiațiilor penetrante este cel radiometric. Bazele teoretice ale acestui procedeu sînt arătate în lucrări de specialitate [1], [93]. Ca înregistrători pentru radiațiile care au traversat piesa se folosesc camerele de ionizare, contori Geiger-Müller sau contori cu scintilație. Acest procedeu se pretează la automatizarea controlului și se poate aplica cu succes în defectoscopia pieselor cu uniformitate de formă, respectiv controlul laminatelor, al țevilor sudate etc. [110].

## PROCEDEUL DE ÎNREGISTRARE FOTOGRAFICA

În prezent însă, în industrie, cea mai largă utilizare o are procedeul de înregistrare fotografică, datorită concludenței sale, bunei sensibilități și existenței unei fotografii care se poate prezenta și păstra ca document.

În această direcție s-au făcut cercetări și s-au elaborat cele mai multe lucrări din domeniul defectoscopiei cu radiații penetrante (v. bibliografia).

La toate aceste lucrări se observă preocuparea pentru : îmbunătățirea metodicii de lucru ; mărirea sensibilității și a productivității ; stabilirea condițiilor optime de utilizare a surselor de radiații și diverselor feluri de filme, în funcție de caracteristicile acestora și de felul și grosimea materialului controlat ; găsirea celor mai juste criterii de interpretare și apreciere a radiografiilor și implicit deci a calității pieselor controlate.

O activitate prodigioasă, în acest sens, a dus Institutul International de Sudură (I.I.S.) care, prin Comisia V, a sintetizat și valorificat multe cercetări și experiența cîștigată în diverse țări, elaborînd o serie de documente foarte utile specialiștilor care lucrează în acest domeniu al defectoscopiei cu radiații penetrante ; o bună parte din aceste documente sînt arătate în bibliografia anexată de la [115] la [143].

— Dar succesele metodei cu raze X constau nu numai în posibilitatea de descoperire a defectelor interioare din piese, ci și în îmbunătățirea tehnologiei fabricării pieselor, ca o consecință directă a acestui control.

În URSS și în alte țări s-au făcut cercetări și s-au publicat lucrări asupra legăturii dintre defectele descoperite pe radiografii și caracteristicile mecanice ale pieselor cu defecte. O serie de lucrări tratează problema influenței defectelor în îmbinările sudate.

În cadrul Comisiei V a Institutului Internațional de Sudură s-a consacrat o atenție deosebită acestei probleme, înființîndu-se chiar o subcomisie de lucru „Defectele sudurilor și semnificația lor"; s-a elaborat și un document I.I.S. [143] în care sînt arătate și lucrări elaborate pînă în prezent în acest domeniu ; s-a făcut apel la specialiștii din diferitele țări membre de a între-

prinde experimentări și studii în această direcție, pentru ca în final să se poată ajunge la stabilirea de criterii precise și obiective de acceptare a sudurilor.

În încheiere, mai trebuie să amintim importanța pe care o prezintă metoda cu raze X prin utilizarea ei în domeniul spectroscopiei.

## 5.2. METODA CU RAZE GAMA

Instalațiile cu raze gama fiind simple și portative pot fi folosite în ateliere și pe teren, fără a necesita vreo sursă de curent electric. Acest fapt face ca ele să fie foarte prețioase pentru defectoscopia industrială.

Razele gama emise de diferite surse radioactive constau din una sau mai multe radiații monocromatice (fotoni de diferite energii).

În afară de razele gama, sursele radioactive mai pot emite și raze alfa și beta, însă pentru defectoscopie ele nu au mare importanță.

### 5.2.1. Surse și aparate de raze gama

Deși în prezent se cunoaște un număr mare de izotopi artificiali care emit raze gama, nu toți pot fi utilizați în defectoscopie. Utilitatea izotopilor pentru defectoscopie depinde de totalitatea caracteristicilor de bază care determină interacțiunea razelor gama cu piesa controlată și de proprietățile tehnico-economice ale izotopului respectiv.

La alegerea izotopilor radioactivi se ține seama de: energia razelor gama emise; perioada de înjumătățire; activitatea specifică a preparatului; viteza de activare; caracterul deficitar și costul preparatului.

În toate țările industriale din lume în care se aplică defectoscopia gama, cea mai largă utilizare o au următorii izotopi:

| Denumirea izotopului | Perioada de înjumătățire | Energia razelor gama, în MeV |
|---|---|---|
| Co-60 | 5,3 ani | 1,17 ; 1,35 |
| Cs-137 | 33 ani | 0,661 |
| Ir-192 | 75 zile | 0,13 ; 0,29 ; 0,58 ; 0,6 ; 0,61 |
| Ra-226 | 1 622 ani | 0,18 |
| Tu-170 | 129 zile | 0,084 |
| Se-75 | 127 zile | 0,067 ; 0,405 |
| Eu-155 | 1,7 ani | 0,06 ; 0,13 |

Aparatele pentru defectoscopia cu raze gama se compun în principal dintr-un conteiner de plumb în care se află depozitată sursa radioactivă și dintr-un dispozitiv pentru deplasarea de la distanță a sursei din poziția de depozitare în poziția de lucru.

În URSS, USA, Anglia și alte țări se acordă o serioasă atenție problemei creării unor aparate comode și cu deplină securitate.

Uzina „Mosroentgen" fabrică : aparate de tip GUP-Co-0,5 care au dat bune rezultate în exploatare ; aparate de tip GUP-Co-5 și GUP-Co-50 cu o încărcătură de Co-60 de 5 și respectiv 50 g echivalent, care însă — dat fiind activitatea mare a sursei — pot lucra numai în condiții stabile și în încăperi speciale și ca atare nu și-au găsit o utilizare largă. Situația de altfel este similară și în alte țări ; nu se folosesc aparate sau surse de activitate prea mare. De obicei aceste aparate se limitează la o activitate de 1—2 curie pentru Co-60 și valori echivalente pentru alți izotopi. În Anglia, firma Panta Instruments a realizat un aparat gama, numit „Pentatron", cu ajutorul căruia — de la o distanță nepericuloasă — se pot controla piese mari și mici greu accesibile, îmbinări inelare sudate, lucrări subacvatice, pereți de nave, elici de avion etc.

### 5.2.2. Alegerea surselor gama, metodica de control și îmbunătățirea performanțelor

Energia fotonilor gama determină capacitatea lor penetrantă și ionizantă și deci în funcție de natura și grosimea piesei controlate se aleg izotopi de diferite energii. Ca și în cazul metodei cu raze X, la utilizarea razelor gama imaginea pe fotografie se obține cu atît mai constantă și defectele sînt descoperite cu atît mai bine (sensibilitate mai mare), cu cît este mai mare coeficientul de absorbție în corpul piesei, respectiv cu cît este mai mică energia radiației și în același timp, cu cît este mai mică mărimea preparatului (pata focală).

Deci, pentru gamadefectoscopia industrială, o sursă este judicios aleasă cînd energia radiației și dimensiunile petei focale dau o sensibilitate maximă de detectare a defectelor la materialul și grosimea piesei controlate.

Multe lucrări elaborate în străinătate tratează acest aspect al problemei. Aceste lucrări conduc la concluzia că pentru controlul pieselor din oțel, sursele de Co-60 sînt indicate la grosimi mai mari de 40 mm, cele de Ir-192 la grosimi cuprinse între 20 și 50 mm, iar cele de Tu-170 pentru grosimi pînă la 15 mm.

De asemenea, trebuie luat în considerare faptul că izotopii care au o perioadă de înjumătățire mică sînt dezavantajoși în exploatare, deoarece necesită schimbarea frecventă a izotopilor din aparate și mărirea duratei de expunere, ca urmare a micșorării rapide a radioactivității.

Durata de expunere mare, în cazul folosirii surselor cu putere (activitate) mică, micșorează mult productivitatea controlului, iar dacă în schimb se mărește activitatea sursei, aceasta dăunează calității imaginilor, datorită creșterii dimensiunilor sursei (pata focală) și impune măsuri de protecție sporite împotriva acțiunii radiațiilor asupra personalului de deservire.

Aceste aspecte — uneori contradictorii — au necesitat efectuarea multor cercetări experimentale care să permită o alegere judicioasă a surselor și parametrilor de expunere, în vederea realizării unei sensibilități și productivități optime.

Dutly și Tenney [27] au făcut determinarea comparativă a regimurilor de radioscopie a surselor de Co-60 și Ra-226 pentru diferite materiale; în tabela 5.2 se dau grosimile optime (în mm) ale diverselor materiale ce se pot controla cu ajutorul acestor surse, la o distanță focală de 76 cm, cu filme aplicate între două ecrane din plumb de 0,5 mm și o densitate de înnegrire D=1, iar în tabela 5.3 sînt arătate sensibilitățile de descoperire a defectelor la aceleași materiale.

*Tabela 5.2*

| Expunerea în curie/h | Ra—226 | | | | | | Co—60 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Al | Zn | Fe | Sn | Cu | Pb | Al | Zn | Fe | Sn | Cu | Pb |
| 2 | 46 | 17 | 15 | 14 | 13 | 6 | 41 | 17 | 14 | 15 | 13 | 8 |
| 3 | 90 | 32 | 30 | 28 | 26 | 13 | 78 | 32 | 26 | 29 | 25 | 15 |
| 5 | — | 52 | 48 | 45 | 43 | 20 | — | 52 | 42 | 45 | 40 | 24 |
| 10 | — | 80 | 73 | 68 | 65 | 32 | — | 80 | 64 | 70 | 60 | 37 |
| 20 | — | — | — | — | 89 | 45 | — | — | 86 | — | 81 | 50 |
| 30 | — | — | — | — | — | 51 | — | — | — | — | — | 57 |

*Tabela 5.3*

| Materialul | Grosimea în mm | Sensibilitatea % | |
|---|---|---|---|
| | | Ra—226 | Co—60 |
| Al | 150 | 1,5 | 0,83 |
| Zn | 100 | 2 | 1 |
| Fe | 100 | 2 | 1 |
| Cu | 100 | 2 | 1 |
| Sn | 100 | 1 | 1 |
| Pb | 50 | 0,66 | 0,7 |

Se observă că pentru Co-60 sensibilitatea este mai bună decît la Ra-226 și aceasta datorită faptului că activitatea specifică este mai mare și diametrul sursei — la aceeași activitate — este mai mic (8 mm față de 15 mm).

Se mai constată că pe măsura creșterii numărului atomic și a grosimii materialului controlat sensibilitatea se mărește, fapt ce se datorește micșorării radiațiilor difuzate pe unitatea de grosime de material; această constatare a fost arătată pe altă cale — cea a determinării coeficienților efectivi de absorbție — de către autorul prezentului referat [76].

În lucrările lui S. T. Nazarov [68] și N. V. Ușakov [112] sînt date curbele de sensibilitate pentru detectarea defectelor în piesele de oțel, deter-

minate în cazul folosirii izotopilor care emit radiații gama de diferite energii (v. *fig. 5* în care : 1 — Co-60 ; 2 — Cs-137 ; 3 — Ir-192 ; 4 — Eu-152—154 ; 5 — Se-75 ; 6 — Tu-170).

Morrison și Perry [64] au determinat influența temperaturii filmului și a acțiunii ecranelor intensificatoare din Pb asupra gamagrafiilor cu Co-60.

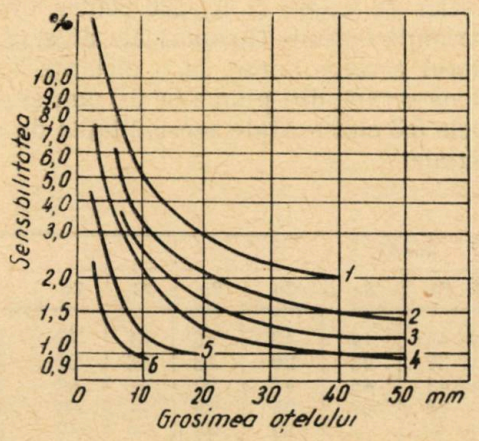



Fig. 5

Aceiași autori au determinat sensibilitatea pentru piese din oțel de 25 mm grosime controlate cu Co-60 ; în cazul folosirii ecranelor din Pb sensibilitatea era de circa 2%, în timp ce pentru cele din wolfram era de cca 5%.

În lucrarea lui Hirschfield și O'Connor [48] se studiază influența distanței focale asupra calității fotografiei. Blach (Phys. Rev., 2/1953) arată metodica determinării acțiunii penetrante a razelor gama emise de Cs-137, Co-60 și Na-24 în piese de oțel cu o grosime pînă la 140 mm.

Sursa de Ir-192, avînd o activitate specifică mare, permite realizarea unor dimensiuni mici ale petei focale. Acestei surse îi sînt consacrate de asemenea numeroase studii. Unele din ele [64], [114] au fost făcute cu scopul de a lămuri caracterul rațional al folosirii Ir-192 în gamadefectoscopia industrială.

În tabela 5.4. se dau date comparative (obținute de Morrison) asupra sensibilității obținute cu sursele de Co-60 și Ir-192 la piese din oțel de grosimi mici, pe filme Kodak, cu densități de înnegrire variind între 0,7 și 3.

Se observă că la grosimi mai mici ale pieselor este rațional să se utilizeze Ir-192 deoarece oferă o sensibilitate mai mare decît Co-60.

De asemenea, se observă că la densități de înnegrire a filmului mai mari sensibilitatea este mai bună. Desigur însă că obținerea de sensibilități mai bune la densități de înnegrire mai mari presupune timpi de expunere mai mari și deci productivitate mai mică.

R. Wolf și K. Wolf [114] au efectuat cercetări cu Ir-192 pentru determinarea regimurilor de control al aliajelor de aluminiu ; expunerile s-au făcut la diferite distanțe focale (400 la 1 250 mm), iar densitatea de înnegrire a filmelor era D=2.

*Tabela 5.4*

| Grosimea oțelului în mm | Sursa | Densitatea de înnegrire a filmului | Sensibilitatea % |
|---|---|---|---|
| 6 | Co-60 | 1,55 | 8 |
| | | 3,00 | 6 |
| | Ir-192 | 0,8 | 6 |
| | | 1,4 | 4 |
| | | 2,8 | 4 |
| 12 | Co-60 | 1,4 | 4 |
| | | 2,3 | 3 |
| | Ir-192 | 0,7 | 3 |
| | | 1,1 | 2 |
| | | 2,3 | 2 |

In funcție de sensibilitatea obținută — v. tabela 5.5 — autorii ajung la concluzia că limita inferioară a grosimii pieselor din aluminiu controlate cu Ir-192 este de 25 mm

*Tabela 5.5*

| Grosimea aluminiului în mm | 3 | 10 | 20 | 23 | 25 | 30 | 40 | 42 | 45 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sensibilitatea % | 8 | 6 | 4 | 3 | 2,5 | 2 | 1,8 | 1,7 | 1,7 |

Pentru grosimile medii ale aluminiului, imaginile obținute pe film, cu Ir-192, sînt similare celor cu raxe X, iar în unele cazuri și mai bune. Controlul grosimilor mari de aluminiu și oțel cu Ir-192 necesită expuneri mari și în consecință folosirea sa, în acest caz, devine nerațională.

Sursa de Ir-192, avînd o perioadă de înjumătățire mică (75 zile), se dezintegrează rapid, ceea ce îngreuiază utilizarea curbelor de expunere obișnuite în care nu se ține seama de variația activității sursei în timp. Morse [63], pe baza unor raționamente teoretice, a efectuat calcule și a construit nomograme cu ajutorul cărora se poate găsi (grafic) durata expunerii, ținînd seama de activitatea inițială a sursei de Ir-192, timpul de dezintegrare, grosimea piesei controlate, distanța focală și densitatea de înnegrire a filmului.

Sursele de Cs-137 se produc mai greu și ca atare sînt mai scumpe. Acest izotop nu se poate obține prin iradierea cu neutroni a elementelor din intervalul dintre tritiu și poloniu (ca Ir-192, Co-60 etc.), ci el este un semi-

produs al dezintegrărilor nucleare, prin separarea lui chimică din celelalte produse ale dezintegrare. În 1954, Dutly şi Taylor [28] au publicat o lucrare în care sînt descrise încercările lor cu surse de Cs-137, cu activitate de 3 curie, pentru gamagrafia industrială ; distanţa focală a fost de 760 mm, densitatea de înnegrire de 1,5 şi 1, pe filme expuse între crane de Pb de 0,15 mm ; sensibilităţile obţinute pentru piesele din oţel şi aluminiu sînt arătate în tabela 5.6.

*Tabela 5.6*

| Aluminiu | | Oţel | |
|---|---|---|---|
| Grosimea în mm | Sensibilitatea % | Grosimea în mm | Sensibilitatea % |
| 40 | 3,7 | 12 | 8 |
| 76 | 2,6 | 25 | 4 |
| 116 | 2,6 | 33 | 3,3 |
| — | — | 50 | 3 |
| — | — | 64 | 2,4 |

În urma studiului efectuat, autorii au putut trage concluzia că radiaţia de Cs-137 are aceeaşi capacitate penetrantă ca şi radiaţia Roentgen de la aparatul de 1 000 kV, sensibilitatea obţinută fiind sensibil aceeaşi pentru un interval limitat de grosimi ale unui anumit material ; în ce priveşte însă acţiunea ionizantă — deci productivitatea — razele X de 1 000 kV depăşesc de multe ori pe cele ale Cs-137 şi Co-60.

În articolul lui Schorr [107] se dau elementele generale asupra izotopilor artificiali utili pentru defectoscopia gama şi alegerea lor în funcţie de grosimile curente ale materialelor, în etapa actuală de dezvoltare a controlului nedistructiv în S.U.A. ; în articol sînt analizaţi factorii care influenţează asupra calităţii fotografiei şi duratei de expunere. Concluzia este că cei mai necesari izotopi pentru gamadefectoscopie sînt Co-60, Cs-137, Ir-192 şi Tu-170. Însă o dată cu dezvoltarea industriei atomice trebuie să-şi găsească aplicarea şi alte surse gama şi în primul rînd Eu-155 şi Ce-144 (care emite o radiaţie policromatică cu energii de 0,034 ; 0,041 ; 0,053 ; 0,080 ; 0,095 ; 0,105 ; 0,134 ; 0,231 MeV şi perioadă de înjumătăţire de 282 zile), iar ca sursă de radiaţie rigidă Na-24 (energia radiaţiei 1,368 MeV ; perioada de înjumătăţire 2,6 ani).

În URSS, cu studiul sistematic al gamadefectoscopiei se ocupă : S. T. Nazarov, de la Şcoala Tehnică Superioară „Bauman" din Moscova, S. V. Rumianţev, L. K. Tatocenko şi S. V. Medvedev de la Institutul central de metale neferoase (TNICERMET), V. S. Sokolov, A. E. Trapeznikov etc. Cercetările lui S. T. Nazarov [69] se referă în primul rînd la aplicarea surselor gama pentru controlul pieselor sudate. Într-una din ultimele sale lucrări [70], făcută în colaborare cu K. G. Goriaceva, se arată metodica controlului cusăturilor sudate unghiulare cu surse de Co-60, Ir-192 şi Cs-137. Capacitatea slabă de descoperire a fisurilor cu raze gama, atît la piesele

sudate cît și la cele turnate, se explică prin deschiderea insuficientă a marginii fisurilor (intrînd sub procentul de sensibilitate maximă a metodei) și prin aceea că direcția fisurii în general nu se află pe direcția razelor gama.

În lucrările lui S. V. Rumiantev este descrisă metodica defectoscopiei gama pentru piesele din industria aviației cu ajutorul Co-60 [97], Cs-137, Ir-192, Eu-155 și Tu-170 [98]. În lucrările sale sînt arătate regimurile optime de gamadefectoscopie și sensibilitățile de descoperire a defectelor pentru piese din oțel, aliaje de titan, aluminiu și magneziu. S. V. Rumiantev dă un tablou concluziv (v. tabela 5.7) în care se arată izotopii de bază și auxiliari recomandați pentru diverse grosimi și materiale.

*Tabela 5.7*

| Materialul | Grosimea în mm | Izotopii recomandați | |
|---|---|---|---|
| | | de bază | auxiliari |
| Oțel | 0,15—15 | Tu-170 | Ir-192 ; Co-60 |
| | 15—40 | Ir-192 ; Cs-137 | Cs-137 |
| | 40—80 | Cs-137 | |
| | 80—160 | Co-60 | |
| | 160—200 | Co-60 | |
| | 200—300 | Betatron | |
| Aliaje de titan | 1—30 | Tu-170 | Co-60 |
| | 30—100 | Ir-192 | |
| | 100—150 | Cs-137 | |
| | 150 - 300 | Co-60 | |
| | 300—500 | Betatron | |
| Aliaje de aluminiu | 5—50 | Tu-170 | Cs-137 |
| | 50—150 | Ir-192 | |
| | 150—250 | Cs-137 | |
| | 250—500 | Co-60 | |
| Aliaje de magneziu | 10—100 | Tu-170 | Ir-192 |
| | 100—200 | Tu-170 | |

Lucrările lui Tatocenko și S. V. Medvedev [108] se referă în primul rînd la încercările pieselor din oțel cu Co-60 și Ir-192, dîndu-se diagrame de expunere.

Aceiași autori au elaborat, la TNICERMET, controlul în bandă al cusăturilor sudate, la conducte de gaz, cu ajutorul unui defectoscop de ionizare. O altă variantă de defectoscop gama cu contor de ionizare a fost elaborată în Institutul de fizica metalelor al Filialei din Ural a Academiei de Științe a U.R.S.S., de către I. G. Fakidov și A. A. Samohvalov [99].

Cercetările efectuate au arătat că sensibilitatea defectoscopului gama cu contori de ionizare este de 3% pentru grosimile de oțel între 80 și 300 mm. Mai tîrziu, aceiași autori au elaborat un defectoscop gama la care ca indicator

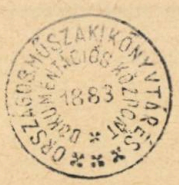
de radiație s-a utilizat un contor cu scintilație. Folosirea contorului cu scintilație prezintă avantaje față de cele de ionizare, permițînd mărirea sensibilității și a vitezei de control în bandă.

S. T. Nazarov [68] a efectuat o lucrare experimentală pentru folosirea izotopilor radioactivi cu radiații beta în scopul obținerii razelor X de frînare. S-au studiat în acest scop doi izotopi : Sr-90 și Tu-170, luîndu-se în considerare următorii factori : spectrul radiației de frînare ; randamentul în raze X față de razele beta incidente ; determinarea coeficienților totali de absorbție ai razelor X pentru oțel și aluminiu. Experiențele efectuate au dovedit că folosirea izotopilor Sr-90 și Tu-170 pentru controlul materialelor prin radiație de frînare și directă poate lărgi mult posibilitățile metodei fotografice a defectoscopiei cu raze gama pentru controlul aliajelor ușoare și al oțelurilor cu grosime mică.

Dintre procedeele de înregistrare a imaginii arătate la metoda cu raze X, cel de înregistrare vizuală nu se practică în cazul defectoscopiei gama, deoarece acțiunea ionizantă a radiației gama este în general insuficientă pentru excitarea luminii ecranelor fluorescente.

Și aci este cazul să amintim contribuția adusă de Institutul internațional de sudură prin elaborarea unor documente (recomandări) în problemele privind controlul îmbinărilor sudate cu ajutorul razelor gama. Dintre problemele discutate în care s-au elaborat recomandări, pe baza studiilor și experiențelor specialiștilor din diverse țări, amintim : radiografii de referință ale sudurilor la oțeluri și aliaje ușoare ; indicatorii de calitate a imaginii ; tehnica controlului radiografic pentru obținerea unor sensibilități maximale ; posibilitatea detectării fisurilor ; încercările sensitometrice ale filmelor radiografice cu și fără ecrane de plumb ; clasificarea filmelor utilizate în radiografia sudurilor ; practica controlului recomandată pentru radiografierea diferitelor îmbinări sudate ; evaluarea sudurilor pe baza radiografiilor lor ; formarea și calificarea controlorilor însărcinați cu lectura radiografiilor etc. [115]—[143].

*Obs. Bibliografia se publică la sfîrșitul părții a doua, în nr. 2/1967 al acestei reviste.*



# W. Hume-Rothery : THE STRUCTURES OF ALLOYS OF IRON
## (Structura aliajelor fierului)

*Ed. Pergamon-Press, Londra, 1966*

Urmărind cărtile prof. W. Hume-Rothery publicate în ultimii ani, se observă că, pe lîngă tratate de strictă specialitate, autorul elaborează cu consecvență cărți cu un profil special. Este vorba de manuale pentru cei ce nu se ocupă nemijlocit de cercetarea teoretică a proceselor metalurgice, adică pentru acei specialiști, care în domeniile lor de preocupări au nevoie de cele mai noi cuceriri ale metalurgiei fizice structurale. Aceste manuale sînt utile în bună măsură și inginerilor din industria metalurgică, care, după concepția autorului, trebuie să fie la curent cu noile teorii ale fizicii corpurilor solide.

Pe această linie se situează, de exemplu, cartea *Electrons, atomes, métaux et alliage* (Dunod, Paris, 1959), în care Hume-Rothery prezintă într-o tratare ușor accesibilă teoria metalelor și aliajelor metalice bazată pe structurile atomice ale elementelor, folosind datele mecanicii cuantice, teoria probabilității, mecanica statistică și altele.

Cartea de care ne ocupăm este un alt exemplu al preocupărilor profesorului în sensul celor arătate. Hume-Rothery se referă aici la aliajele fierului, arătînd cum se aplică teoriile metalurgiei fizice structurale la aceste aliaje atît de folosite în industrie.

Cartea este împărțită în unsprezece capitole conținînd următoarele :

*Cap. 1* constituie o introducere în care se prezintă structura electronică a atomului de fier și teoria electronică a cristalului fierului.

*Cap. 2* tratează structurile cristaline ideale ale fierului : cubul central al $\alpha$ Fe și cubul cu fețe centrate al $\gamma$ Fe. Se prezintă de asemenea teoria transformărilor alotrope ale fierului.

*Cap. 3* se ocupă de structura cristalelor reale ale fierului, tratîndu-se problemele poligonizării, dizlocațiilor, segregațiilor și precipitărilor.

*Cap. 4* prezintă difuzia în fier și în aliajele fierului. După expunerea teoriei generale, o mare atenție se dă difuziei carbonului în fier.

*Cap. 5* tratează transformările solid-lichid în aliajele fierului, stările de echilibru și metastabile. Se prezintă apoi oțelurile cu mangan, oțelurile cu nichel și aliajele fierului cu fosforul și cu sulful.

*Cap. 6* cuprinde teoria aliajelor interstițiale ale fierului : Fe+C ; Fe+B ; Fe+N ; Fe+H ; Fe+O.

*Cap. 7* tratează problema transformărilor structurale din oțeluri și deci a diagramelor timp, temperatură, transformare (TTT).

*Cap. 8* cuprinde teoria structurii perlitice.

*Cap. 9* se ocupă de două transformări de mare importanță, analizate în detaliu și anume : transformarea martensitică și transformarea bainitică.

*Cap. 10* tratează cîteva probleme speciale ca : sistemele ternare fier-metal și alt component ; oțelurile slab aliate ; oțelurile bogat aliate ; precipitări în oțeluri ; formarea carburilor.

*Cap. 11* încheie cartea cu prezentarea unor probleme ale fontelor cum ar fi : prezența grafitului și geometria formațiilor grafitice ; fontele maleabile, fontele martensitice și austenitice ; fontele aliate.

Simpla enumerare a problemelor cuprinse arată că autorul se ocupă de fapt în carte de fenomenele cele mai importante, pe care le tratează în lumina teoriei metalurgiei fizice structurale. Prin aceasta fenomenele primesc o fundamentare logică, care ne dezvăluie tot mai mult procesul de formare a bazelor științifice ale metalurgiei.

Tratarea extrem de limpede, pe căile cele mai accesibile, cu folosirea unei aparaturi matematice simple, face ca cunoștințele să fie ușor de asimilat. In consecință cel interesat primește repede o altă modalitate de înțelegere a fenomenelor, care îi permite fie să utilizeze mai profund aceste rezultate în cercetare, fie să aibă un orizont mai vast în tratarea proceselor productive din metalurgia aplicată.

In consecință această preocupare a prof. Hume-Rothery este de mare folos pentru marea masă de cercetători în domenii limitrofe cu metalurgia și pentru inginerii din producție preocupați de elaborarea aliajelor metalice.

TRAIAN SĂLĂGEAN

I.P.B.T. — 150/1967.

MŰSZAKI KÖNYVTÁR 1883 DOKUMENTÁCIÓS KÖZPONT

I. HUBER PANU

## NOI RELAȚII MATEMATICE PRIVITOARE LA FLOTAȚIA ÎN FLUX CONTINUU

Se stabilește o ecuație generală care exprimă extracția de substanță utilă ce se obține într-o instalație de flotație funcționînd în flux continuu în funcție de parametrii caracteristici procesului, în cazul general cînd flotabilitatea diferitelor particule de substanță minerală utilă este o funcțiune de frecvență oarecare. Făcînd o ipoteză asupra expresiei acestei funcțiuni și folosind unele constatări experimentale privind variația, de la celulă la celulă, a parametrilor caracteristici funcționării în flux continuu în regim staționar, se deduc ecuații care permit calculul extracției de substanță utilă realizată într-o instalație funcționînd în flux continuu cu un număr oarecare de celule, în funcție de un număr redus de parametri ce pot fi determinați experimental folosind o singură celulă.

*Studii și cercetări de metalurgie* (1967), **12**, *1*.

N. DRĂGAN, M. L. BERNSTEIN

## ASUPRA CORELAȚIEI DINTRE PROPRIETĂȚILE MECANICE, STRUCTURĂ ȘI SUBSTRUCTURĂ A ȚEVILOR ÎN URMA TRATAMENTULUI TERMOMECANIC

In lucrare sînt prezentate rezultatele studiului röntgenostructural și ale analizei structurii la microscopul electronic a țevilor supuse tratamentului termomecanic la temperaturi înalte. Pe baza acestor rezultate s-a stabilit că obținerea în urma aplicării tratamentului termomecanic a unor proprietăți mecanice superioare, este determinată în deosebi de fragmentarea structurii grăunților austenitici în timpul deformării plastice la temperaturi ridicate. Densitatea imperfecțiunilor submicrostructurale în structura țevilor tratate termomecanic este mai ridicată decît în urma tratamentului termic obișnuit.

*Studii și cercetări de metalurgie* (1967), **12**, *1*.

IRINA ZBEREA

## POSIBILITĂȚI DE UTILIZARE A MICROSCOPIEI INTERFERENȚIALE ÎN STUDII DE STRUCTURI

In această lucrare se prezintă rezultatele obținute în urma studiilor structurii suprafețelor metalice, efectuate prin folosirea microscopiei interferențiale la un microscop metalografic Zeiss-Neophot, adaptat în acest scop.

Sînt expuse interpretările interferogramelor. Sînt discutate posibilitățile de aplicare ale metodei în scopul completării datelor obținute prin metalografie și microscopie electronică.

*Studii și cercetări de metalurgie* (1967), **12**, *1*.

FR. EISENKOLB, M RIEHLE

## COMPARAȚIE ÎNTRE PROPRIETĂȚILE DE REZISTENȚĂ ALE OȚELURILOR DE ÎMBUNĂTĂȚIRE DUPĂ UN TRATAMENT NORMAL ȘI ÎN TREPTE

S-au studiat două oțeluri (24 CrMo 4 și 42 Mn V 7) de îmbunătățire standardizate în Republica Populară Germană, în scopul ameliorării caracteristicilor mecanice, în special a tenacității în domeniul de rezistență la întindere uzual, prin călire în trepte, în comparație cu procedeul de îmbunătățire obișnuit prin călire și revenire. Rezultatele obținute au dovedit că îmbunătățirea în trepte a ambelor oțeluri nu este recomandabilă în domeniul de rezistență la întindere studiat.

*Studii și cercetări de metalurgie* (1967), **12**, *1*

A. DOMŞA, L. BOTHA

## CONTRIBUŢII LA METODICA INCERCĂRILOR DE REZISTENŢĂ ALE PIESELOR POROASE INELARE SINTERIZATE

Se recomandă pentru determinarea proprietăţilor mecanice ale pieselor poroase sinterizate, de formă inelară, utilizarea epruvetelor inelare supuse la compresiune, cu o geometrie şi porozitate riguros controlată, în locul epruvetelor obişnuite la întindere axială.

*Studii şi cercetări de metalurgie* (1967) **12**, *1*.

L. BOLEANŢU, M. FISCHER, T. BABEU

## UNELE PARTICULARITĂŢI ALE INCERCĂRILOR DE REZISTENŢĂ PE MODELE DIN ELEMENTE CU DIMENSIUNI MICI

Lucrarea cuprinde consideraţii asupra alegerii tipului de extensometru în studiul experimental al deformaţiilor pe modele din elemente cu dimensiuni mici şi arată avantajele tensometriei electrice rezistive în astfel de cazuri. Pentru această metodă aplicată pe modele din elemente cu dimensiuni mici se precizează unele particularităţi în tehnologia metodei şi se dezvoltă în special un calcul al erorilor de măsurare provenite din diferite cauze, ca de exemplu : curbura elementului în planul transversal, grosimea stratului de adeziv, montarea înclinată a traductorului faţă de direcţia considerată, atît în cazul pieselor plane, cît şi la cele cilindrice, solicitate la întindere şi încovoiere. Pe baza relaţiilor deduse, pentru aceste erori s-au trasat diagrame cu ajutorul cărora se pot corecta valorile măsurate în condiţiile arătate.

*Studii şi cercetări de metalurgie* (1967) **12**, *1*.

V. SAFTA, AL. BERNATH

## UN NOU CRITERIU DE DETERMINARE A COMPORTĂRII TENACO-FRAGILE A METALELOR

In lucrare se prezintă un nou criteriu de determinare a comportării tenaco-fragile a metalelor, cu luarea în consideraţie a principalilor factori externi — starea de tensiune, viteza de deformare şi temperatura — care intervin într-o anumită situaţie în exploatarea unei piese sau element de construcţie.

La baza acestei metode propuse stă teoria tensiunilor stabilită pentru cazul general al stării triaxiale şi neomogene în stadiul deformaţiilor elastice şi elastoplastice.

Metoda preconizată prezintă avantajul de a pune la dispoziţia constructorului valoarea critică a coeficientului de concentrare a tensiunii $\alpha$ (respectiv raza minimă de racordare $\rho$) pînă la care pentru un anumit material şi o anumită situaţie practică este asigurată o comportare încă tenace a materialului.

*Studii şi cercetări de metalurgie* (1967), **12**, *1*.

B. HOROVITZ, M. CRUDU, D. PERJU, M. BALEKICS

## APLICAREA METODEI SARCINII PROGRESIVE LA STABILIREA DURABILITĂŢII ŞI A REZISTENŢEI LA OBOSEALĂ

Metoda sarcinii progresive utilizată la încercarea la oboseală a metalelor prezintă un interes deosebit şi pentru încercarea organelor de maşini. In lucrare se arată modul cum poate fi aplicată metoda sarcinii progresive în cazul organelor de maşini asupra cărora acţionează presiuni hertziene, cînd viteza de încărcare variază după o lege hiperbolică.

*Studii şi cercetări de metalurgie* (1967), **12**, *1*.

Acad. ŞT. NĂDĂŞAN, T. SĂLĂGEAN, CLARA BOARNĂ, V. SAFTA

## INFLUENŢA CONCENTRAŢIEI SURSEI TERMICE ASUPRA UNOR INSUŞIRI FIZICO-MECANICE ALE SUDURILOR REALIZATE ELECTRIC PRIN TOPIRE INTERMEDIARĂ

Condiţiile de bază pentru realizarea la sudarea prin presiune cu topire intermediară, a unor îmbinări sudate cu calităţi comparabile cu ale metalului de bază sînt: suprafeţele care vin în contact să fie perfect curate, şi ele să fie aduse la o distanţă de ordin de mărime a parametrilor reţelei cristaline. Realizarea acestor condiţii se poate face, în general, cu o mare varietate de tehnologii, situate între două posibilităţi extreme: regim „moale", determinat de o încălzire lungă şi forţă de refulare redusă şi regim „dur", caracterizat printr-o încălzire de scurtă durată şi forţă de refulare mare.

In lucrarea de faţă s-au cercetat şi stabilit, pentru oţelurile nealiate cu 0,14—0,61% C, condiţiile suplimentare necesare determinării univoce a regimului tehnologic de sudare. Aceste condiţii au rezultat din analiza unor încercări fizico-mecanice fundamentale şi a unor aspecte ale transformărilor structurale din oţeluri, ca urmare a sudării lor. Aceste cercetări s-au corelat cu energetica proceselor de sudare.

*Studii şi cercetări de metalurgie* (1967), **12**, *1*.

M. GR. NĂSTASE

## STUDIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR ÎN DOMENIUL ÎNCERCĂRILOR NEDISTRUCTIVE. PARTEA I.

Lucrarea conţine, la început, o succintă prezentare a importanţei, scopului şi clasificării încercărilor nedistructive, prezentare făcută în contextul general al disciplinei încercărilor de materiale.

In continuare se prezintă studiul şi orientarea actuală a cercetărilor, pe plan mondial, în domeniul încercărilor nedistructive cu radiaţii penetrante (raxe X şi raze gama) şi aceasta cu referire la sursele şi aparatele respective, la procedeele de înregistrare, la metodica de control şi îmbunătăţirea performanţelor (sensibilitatea şi productivitatea în detectarea defectelor, automatizarea controlului).

*Studii şi cercetări de metalurgie* (1967), **12**, *1*.

T. SĂLĂGEAN, CLARA BOARNĂ, S. MOGA

## CITEVA PROBLEME ALE SUDĂRII PRIN TOPIRE INTERMEDIARĂ A ŞINELOR DE CALE FERATĂ CU GĂURI DE ECLISARE

La sudarea electrică prin presiune a secţiunilor mari ($> 1\,000$ mm$^2$), respectiv a pieselor cu profil complicat, presiunea la refulare nu este constantă pe secţiunea sudată, ceea ce provoacă o deformare plastică inegală. Ca urmare, însuşirile mecanice locale variază şi aceasta provoacă o scădere a rezistenţei la oboseală.

Un asemenea caz se întîmplă la sudarea şinelor de cale ferată, fiind mai accentuat cînd şinele au găuri în care era fixată eclisa. Cercetînd deformarea şinelor sudate fără găuri de eclisare (1), cu găuri (2) şi cu găurile astupate (3), se constată că situaţiile (1) şi (3) au acelaşi mod de deformare şi deci şi rezistenţă la oboseală practic egală. In situaţia (2), gaura de eclisă provoacă o scădere a deformaţiei plastice în dreptul ei şi rezistenţa la oboseală scade. In situaţiile (1) şi (3) şinele sudate au o rezistenţă la oboseală de 90% din aceea a şinelor nesudate, iar în situaţia (2) de 80%.

In concluzie, la sudarea electrică prin presiune a şinelor cu găuri de eclisare este bine ca găurile să fie astupate.

In perspectivă sînt necesare cercetări pentru a stabili presiunea la refulare nu numai în funcţie de materialul ce se sudează, ci şi de secţiunea şi profilul pieselor.

*Studii şi cercetări de metalurgie* (1967), **12**, *1*.

L.P.S.T. - 6

Revista „Studii și cercetări de metalurgie" publică rezultate originale ale cercetărilor din domeniul larg al metalurgiei, sub formă de articole, comunicări sau note. Revista mai cuprinde și rubricile: referate, discuții, recenzii, informații și altele. Temele abordate constituie cele mai recente realizări științifice și tehnice.

## RECOMANDARI PENTRU AUTORI

1. Structura lucrării:

a) *Introducerea* va situa lucrarea pe fondul cunoștințelor actuale, va desemna obiectivele și indica metodele utilizate;

b) *Tratarea* (despărțită pe subcapitole, numerotată după clasificarea zecimală), va preciza premizele, ipotezele simplificările adoptate și va discuta rezultatele, erorile, posibilitățile și comoditatea aplicării, deducerilor matematice;

c) *Concluziile* vor sintetiza rezultatele obținute, limita lor de valabilitate și aplicațiile posibile;

d) *Bibliografia* după standardele în vigoare;

2. Forma lucrării:

a) Lucrările se predau în 3 exemplare dactilografiate la 2 rînduri (2 000 semne pe pagină), inclusiv exemplarul original fără corecturi, intervenții.

b) Figurile pe calc un exemplar, pe hîrtie ozalid 2 exemplare;

c) La începutul lucrării se trece clasificarea zecimală internațională;

d) Volumul lucrării circa 15 pagini.

Se primesc numai lucrări originale.

*

Manuscrisele se trimit Comitetului de redacție: Timișoara, B-dul Mihai Viteazul 24.

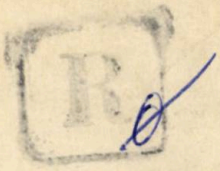
1967 DEC 8

ST. CERC. METALURG. TOM. 12, Nr. 1, P. 240, TIMIŞOARA 1967

43 834

Lei 18.

F 1162



# STUDII ŞI CERCETĂRI DE METALURGIE

TOMUL 12, Nr. 2, 1967

EDITURA ACADEMIEI REPUBLICII SOCIALISTE ROMÂNIA

COMITETUL DE REDACȚIE

Acad. ȘT. NĂDĂȘAN — *redactor responsabil*; prof. I. HUBER PANU, membru corespondent al Academiei R.S.R. — *redactor responsabil adjunct*; conf. L. BOLEANȚU, Timișoara, prof. AL. DOMȘA, Cluj, ing. A. IEREMIA, Reșița, prof. ȘT. MANTEA, București, prof. VL. POPOVICI, Timișoara, ing. D. PAVELESCU, București, ing. C. PANDELESCU, București, dr. ing. M. RAȚIU, Timișoara, dr. ing. TR. SĂLĂGEAN, Timișoara, dr. ing. I. TRIPȘA, București, membri; ing. V. SAFTA, Timișoara — *secretar științific*.

În țară, abonamentele se primesc la oficiile poștale, agențiile poștale, factorii poștali și difuzorii de presă din întreprinderi și instituții.

Comenzile de abonamente din străinătate se primesc la CARTIMEX, București, Căsuța poștală 134—135, sau la reprezentanții săi din străinătate.

Manuscrisele, cărțile și revistele pentru schimb, precum și orice altă corespondență se trimit la Comitetul de redacție pe adresa: B-dul Mihai Viteazul 24 Timișoara.

STUDII ȘI CERCETĂRI DE METALURGIE

apare de două ori pe an

# ACADEMICIANUL ȘTEFAN NĂDĂȘAN

ORSZÁGOS MŰSZAKI KÖNYVTÁR ÉS DOKUMENTÁCIÓS KÖZPONT 1883

*În ziua de 23 septembrie 1967, s-a stins din viață academicianul profesor doctor docent Ștefan Nădășan.*

*S-a născut în 19 august 1901 la Timișoara, unde urmează cursurile școlii primare, își continuă liceul la Eisenstadt (Austria) și Győr (Ungaria) pentru ca începînd cu anul 1920 să urmeze cursurile Școlii politehnice din Timișoara, înființată în același an, iar în anul 1939 să obțină primul titlul de doctor inginer, acordat de această instituție, cu teza:* „Rezistența dinamică a fontei".

*În semn de recunoaștere a meritelor sale științifice și tehnice, în anul 1953 este ales membru corespondent, iar în anul 1963 membru titular și vice-președinte al Academiei R.S. România.*

*A fost directorul Bazei de cercetări a Academiei R.S. România din Timișoara, apoi director al Centrului ei de cercetări tehnice.*

*Din anul 1956 a fost membru în Comitetul de direcție al Institutului internațional de sudură (Paris), iar din aunl 1964 a condus Comisia de sudură a Academiei R.S. România.*

*A fost redactor responsabil al comitetului de redacție la publicațiile Academiei „Studii și cercetări metalurgice" și „Revue roumaine des sciences techniques — Série de métallurgie".*

*Activitatea inginerească și-a început-o la Atelierele CFR Timișoara, unde a lucrat fără întrerupere între anii 1924—1947, începîndu-și primele studii asupra fontelor, ruperilor prin oboseală a osiilor de vagoane etc. În anul 1949 a fost numit inginer consilier la Institutul de proiectări industriale și însărcinat cu înființarea unei unități de proiectare la Timișoara (IPROM), devenită apoi o adevărată școală pentru proiectanții în construcția de mașini.*

*Militant pentru ideea unor laboratoare uzinale bine organizate, a scris în acest domeniu o serie de articole.*

*Dascăl convins, cu valoroase calități de pedagog, se dăruiește cu toată energia învățământului tehnic superior, fiind în anul 1925 asistent, apoi șef de lucrări iar în 1942 este chemat ca profesor de Rezistența materialelor, la Școala politehnică din Timișoara, succesor al profesorului emerit ing. C. C. Teodorescu. In această calitate profesorul Ștefan Nădășan s-a ocupat cu pasiune și competență de formarea generațiilor de ingineri, insuflîndu-le dragostea pentru profesiunea aleasă și scriind nenumărate ediții de cursuri, îndrumătoare de laborator și culegeri de probleme din domeniul Rezistenței materialelor.*

*Activitatea de cercetare științifică a academicianului Ștefan Nădășan se concretizează printr-un număr de circa 87 de lucrări publicate în țară și străinătate, în domeniul rezistenței fontelor, cercetări asupra îmbinărilor sudate și încercărilor de oboseală și se caracterizează printr-o orientare spre rezolvarea problemelor ridicate de practica ingineriei mecanice, cu valoroase contribuții în domeniul încercărilor de materiale. Impreună cu colaboratorii săi a scris două cărți fundamentale în acest domeniu :* „Oboseala metalelor" *și* „Incercări și analize de metale". *Cele mai valoroase contribuții științifice aduse în domeniul încercărilor dinamice ale fontelor au fost reproduse în monografiile lui B. Pivowarski (1964) și F. Rolle (1960). In domeniul încercărilor la oboseală este autorul unei noi metode de determinare a rezistenței la oboseală, la încovoiere alternant simetrică cu șocuri adiționale.*

*In întreaga sa activitate a militat pentru cunoașterea realizărilor din țara noastră, fie prin cuvîntul său la congrese internaționale de specialitate, fie prin lucrări publicate în străinătate. Alături de academicianul Corneliu Mikloși, cu care a colaborat încă din anul 1925, a organizat conferințele de sudură și încercări de materiale, care s-au ținut la Timișoara și care au atras atenția specialiștilor din lumea întreagă.*

*Pentru meritele sale deosebite, didactice și științifice, a fost distins cu titlul de profesor emerit și i s-au acordat ordine și medalii ale Republicii Socialiste România.*

*In întreaga sa activitate a muncit cu mult elan și devotament pentru îndeplinirea sarcinilor care i s-au încredințat. A fost membru al Partidului Comunist Român.*

*Incetarea din viață a academicianului Ștefan Nădășan constituie o grea pierdere pentru științele tehnice și învățămîntul superior din țara noastră.*

BUDAPEST

# STUDII ŞI CERCETĂRI DE METALURGIE

TOMUL 12, Nr. 2, 1967

EDITURA ACADEMIEI REPUBLICII SOCIALISTE ROMÂNIA

# SUMAR

## PREPARAREA MINEREURILOR

C. VINCENZ, Contribuții la teoria fluidizării ... 245
B. NAGY, Studiul procesului de zețaj prin metoda analizei dimensionale ... 263
P. ILIE, Acțiunea oleatului de sodiu asupra unor minerale ale metalelor rare ... 281

## METALURGIE EXTRACTIVĂ

E. KAUSEL, Topirea autogenă a concentratelor de cupru ... 295

## METALURGIE FIZICĂ

N. SASSU, Tratamentul termomecanic al oțelurilor de construcție ... 303
I. BISCOVEANU, Determinarea suprafeței specifice a pulberilor și a permeabilității la aer a corpurilor aglomerate și sinterizate ... 321
SANDA OPREA, Considerații privind procesele fizico-chimice la încălzirea oțelurilor în atmosferă controlată ... 339

## ÎNCERCĂRI DE MATERIALE METALICE

A. CONSTANTINESCU, B. ROTENSTEIN, L. STAICU, Modificări structurale în oțelurile termostabile de tip 1Cr—$\frac{1}{2}$Mo și 2$\frac{1}{4}$Cr—1Mo ... 349
ȘT. NĂDĂȘAN, L. BOLEANȚU, M. FISCHER, Influența factorilor geometrici a concentratorilor de descărcare asupra rezistenței la rupere statică a unor oțeluri 361

## PROBLEME METALURGICE ALE SUDĂRII

H. SELMEREANU, TR. SĂLĂGEAN, Formarea componenților fragili la sudarea oțelurilor cu carbon ... 383
J. CABELKA, C. MILLION, Sensibilitatea la rupere încetinită, un nou criteriu de sudabilitate a oțelurilor de înaltă rezistență ... 399
N. CONSTANTINESCU, A. MILLION, Despre rezistența îmbinărilor sudate cu defecte 415

## SINTEZE

TR. SĂLĂGEAN, Aspecte ale cercetării științifice românești în domeniul sudurii ... 425
M. GR. NĂSTASE, Stadiul actual al cercetărilor în domeniul încercărilor nedistructive cu radiații penetrante ... 375

## NOTĂ

A. MARIAN, Aliaje consolidate prin fază dispersă stabilă ... 463
INFORMĂRI ... 469
RECENZII ... 481

# CONTRIBUŢII LA TEORIA FLUIDIZĂRII

C. VINCENZ

*Uzinele de autocamioane, Braşov*

Plecîndu-se de la relaţiile de plutire a unei granule, într-un curent de fluid, se stabilesc relaţii noi, valabile pentru plutirea granulelor în concentraţie mare, respectiv în stratul fluidizat.

Aceste relaţii permit determinarea valorii vitezelor şi a pierderilor de presiune în strat, valori care conduc la constatarea apariţiei a două puncte critice şi care reprezintă criteriul de stabilire a diverselor forme sub care se prezintă starea de fluidizare.

Cunoaşterea stării de fluidizare şi a presiunilor funcţie de viteza curentului de fluid permite trasarea unei diagrame de fluidizare, care arată corelaţia dintre parametrii principali ce intervin la fluidizare.

## 1. INTRODUCERE

Teoria cunoscută la ora actuală privind hidrodinamica stratului fluidizat, nu pune la dispoziţie relaţii care să coreleze complet satisfăcător toate fenomenele ce apar la fluidizare. Astfel, cele trei forme de fluidizare — lină, cu fierbere, pistonare şi canalizată şi fluidizarea cu plutire — sînt cunoscute. Nu există însă relaţii care să permită prevederea formei de fluidizare, în care se va prezenta stratul [1], [3]. Mai mult, Othmere precizează chiar că nu există nici criterii pe baza cărora să se poată rezolva această problemă [1].

Pentru viteza minimă de fluidizare există relaţii care însă nu sînt recunoscute de toţi autorii [1], [3].

Nu există relaţii unanim recunoscute care să dea valoarea pierderilor de presiune în stratul fluidizat, respectiv care să dea valoarea presiunii care trebuie aplicată stratului pentru a se putea obţine o formă de fluidizare dorită [1], [3]. În literatură apar multe relaţii care exprimă valoarea pierderilor de presiune determinate pe diverse criterii teoretice sau empirice. Se consideră în general că fluidizarea cu gaze are alte legi decît cea cu lichide [1], [3].

În prezenta lucrare se încearcă stabilirea unor relaţii generale care să lege funcţional între ei, parametrii principali care intervin la fluidizarea unui

strat compus din granule sferice, de diametru constant, sub acțiunea unui curent ascendent de fluid fără circulație de granule.

Relațiile stabilite sînt valabile atît pentru gaze, cît și pentru lichide. Ele permit trasarea unei diagrame generale de fluidizare, în care apare variația parametrilor principali pentru granule și agentul de fluidizare funcție de viteza fluidului.

Autorul a aplicat practic relațiile din prezentul studiu într-un caz concret, și anume la sortarea de granule de cuarț de dimensiuni între 0,05 și 2,0 mm.

Plecînd de la viteze ale fluidului mai mari decît vitezele critice, s-au realizat experimental sortări foarte precise atît în curent de apă, cît și de aer.

Sortarea s-a făcut prin crearea stării de fluidizare cu plutirea tuturor granulelor. Pe baza fenomenelor arătate în paragrafele 4.4. și 6.2. s-au colectat granulele de dimensiuni mari în partea inferioară a coloanei, iar cele de dimensiuni mici în partea superioară.

## 2. PARAMETRII PRINCIPALI CARE INTERVIN LA CREAREA STĂRII DE FLUIDIZARE

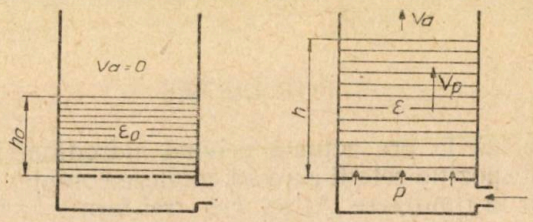



*Fig. 1.* Schema stratului fix și fluidizat.

Se reamintește că parametrii care definesc starea de fluidizare a unui strat de granule sub acțiunea unui curent ascendent de fluid sînt (fig. 1):

$\varepsilon$ = fracția de „gol" între granule, în stratul fix,
$h_0$ = înălțimea inițială a stratului fix (m),
$v_a$ = viteza fluidului în stratul fluidizat (raportată la secțiunea liberă Sa) (m/s),
$\varepsilon$ = gradul de fluidizare (expandare) = fracția de „gol" a stratului fluidizat,
$h$ = înălțimea stratului fluidizat (m),
$p$ = presiunea aplicată la baza stratului ($kgf/m^2$).

Valoarea lui h este dată de [1], [2], [7]:

$$h = ho \frac{1-\varepsilon_0}{1-\varepsilon}. \qquad (1)$$

Acești parametri este știut că depind de

— caracteristicile agentului de fluidizare respectiv de greutatea specifică $\gamma_a$ și de viscozitatea cinematică a fluidului $\nu$;

— caracteristicile materialului adus în stare de fluidizare, respectiv de diametrul d al granulei, de greutatea specifică a materialului granulei $\gamma_m$ și de forma granulei.

În lucrarea de față s-a considerat că granulele sînt sferice și de dimensiuni egale (d).

## 3. PLUTIREA GRANULELOR ÎNTR-UN CURENT DE FLUID

### 3.1. Plutirea unei granule

Sînt cunoscute legile de plutire ale unei granule sferice sub acțiunea unui curent de fluid într-o coloană de diametru $D_c$ mare.

Relațiile de bază care exprimă condițiile de plutire sînt

$$v_u^2 = \frac{4dg(\gamma_m - \gamma_a)}{3\psi\gamma_a}, \tag{2}$$

$$R_e\nu = v_u d, \tag{3}$$

$$\psi = f(R_e). \tag{4}$$

Prin eliminarea lui $v_u$ din relațiile (2) și (3) rezultă

$$R_e^2\psi = \frac{4g(\gamma_m - \gamma_a)d^3}{3\nu^2\gamma_a}, \tag{4'}$$

în care:

$v_u$ este viteza de plutire = viteza fluidului pentru a realiza plutirea granulei (m/s),

d — diametrul granulei (m),

$\gamma_m$ — greutatea specifică a materialului granulei (kgf/m³),

$\gamma_a$ — greutatea specifică a fluidului (kgf/m³),

$R_e$ — numărul Reynolds stabilit cu relația $R_e = \frac{v_u d}{\nu}$,

$\psi$ — coeficient de presiune,

$\nu$ — viscozitatea cinematică a fluidului (m²/s).

Este de asemenea cunoscut că în cazul plutirii unei granule de diametru d, într-o conductă de diametru D, viteza de plutire $v$ a acesteia devine [1], [5], [6]

$$v_c = v_u \left[1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2\right] \tag{5}$$

în care :

D este diametrul conductei (m),

$v_c$ — viteza de plutire (m/s) a granulei de diametru d în conducta de diametru D.

In expresia (5), valoarea lui D mai poate fi scrisă

$$D = 4D'_h + d \tag{5'}$$

determinată din $D'_h = \frac{\pi D^2 - \pi d^2}{4(\pi D + \pi d)} = \frac{D-d}{4}$,

în care $4D'_h$ este diametrul hidraulic al sistemului conductă-granulă.

### 3.2. Plutirea granulelor în concentrație mare

In cazul unei concentrații mari de granule, într-o coloană de diametru Dc, condițiile de plutire se modifică.

In timp ce în cazul unei granule viteza de plutire este o funcție de caracteristicile fluidului și ale granulelor (pentru Dc mare), în cazul granulelor în concentrație mare viteza de plutire a fiecărei granule va fi influențată și de prezența granulelor alăturate.

Pentru a se stabili efectul pe care îl au granulele apropiate asupra vitezei de plutire se face următoarea observație. Granulele apropiate creează pentru granula considerată o reducere a secțiunii de trecere a fluidului. Această reducere de secțiune va aduce după sine o reducere a vitezei de plutire a granulei, la fel ca cea definită de relația (5) pentru cazul plutirii unei granule într-o conductă.

Considerînd că această reducere se creează după aceeași lege definită de relația (5) și notînd cu $v_p$ viteza de plutire a unei granule făcînd parte din colectivul de granule și cu De diametrul echivalent al secțiunii create de granulele înconjurătoare, se poate scrie relația

$$v_p = v_u \left[1 - \left(\frac{d}{D_e}\right)^2\right]. \tag{6}$$

Diametrul De din relația (6) reprezintă diametrul unei conducte echivalente cu conducta de diametrul D din relația (5).

Determinarea diametrului echivalent De, se face plecînd de la diametrul hidraulic al sistemului granule-coloană.

Notînd cu

$D_g$ — diametrul hidraulic al sistemului granule-coloană de fluidizare (m),

$D_c$ — diametrul coloanei de fluidizare (m),

$S_s$ — suprafața totală a granulelor spălate de fluid cuprinse în coloana Dc de înălțimea h ($m^2$),

$n = \frac{6(1-\varepsilon)}{\pi d^3}$ — numărul de granule în unitatea de volum,

$V_\varepsilon$ — volumul golului corespunzător lui $\varepsilon$ din coloana Dc, de înălțimea h ($m^3$),

avem

$$V_\varepsilon = \frac{\pi D_c^2 h \varepsilon}{4}, \tag{7}$$

$$S_s = \pi D_c h + \pi d^2 n \frac{\pi D_c^2 h}{4} = \pi D_c h + \frac{6\pi D_c^2 (1-\varepsilon) h}{4d}. \tag{8}$$

Diametrul hidraulic va fi

$$D_g = \frac{4V_\varepsilon}{S_s}. \tag{9}$$

Ținînd seama de relațiile (7) și (8), se obține

$$D_g = \frac{4\varepsilon}{\frac{4}{D_c} + \frac{6(1-\varepsilon)}{d}}.$$

Pentru $D_c$ mare față de d și neglijînd pe $\frac{4}{D_c}$, $D_g$ devine

$$D_h = \frac{2d\varepsilon}{3(1-\varepsilon)}, \tag{10}$$

care reprezintă diametrul hidraulic al granulelor, relație identică cu cea găsită de M. Leva [2] pentru strat fix.

Cunoscînd pe $D_h$, prin analogie cu plutirea unei granule într-o conductă care strangulează curentul de fluid, se poate scrie

$$D_h = D_e - d = \frac{2d\varepsilon}{3(1-\varepsilon)}, \tag{11}$$

de unde

$$D_e = \frac{d(3-\varepsilon)}{3(1-\varepsilon)}.$$

Inlocuind valoarea lui De în (6) se obține

$$v_p = v_u \left[ 1 - \left( \frac{1-\varepsilon}{3-\varepsilon} \right)^2 \right], \qquad (13)$$

care ne dă viteza de plutire a granulelor în stratul fluidizat funcție de $v_u$ și gradul de fluidizare $\varepsilon$.

Cunoscîndu-se $v_u$ (determinat cu relațiile (2), (3), (4)) și $\varepsilon$, cu ajutorul relației de mai sus se poate trasa curba $v_p = f(\varepsilon)$ pentru granulele de diametre cunoscute.

În *figurile 2* și *3* sînt trasate curbele aproximative $v_p = f(\varepsilon)$ pentru granule de cuarț sferice de diametre d=0,4, 1,0, 2,0, 3,0 mm în curent de aer și apă la scara $v_p$.

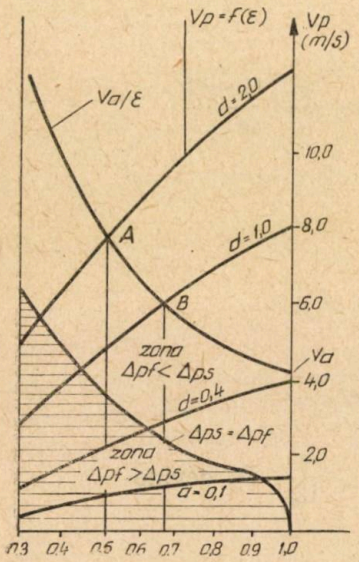



*Fig. 2.* Variația $v_p = f(\varepsilon)$ și $v_a = f(\varepsilon)$ pentru fluidizarea de granule sferice de cuarț cu aer.

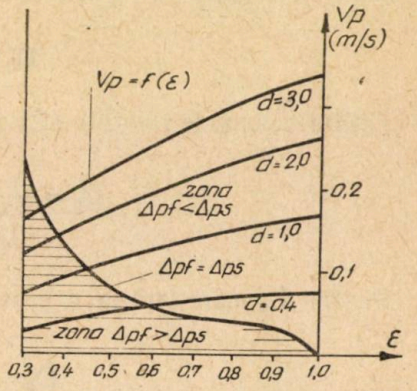



*Fig. 3.* Variația $v_p = f(\varepsilon)$ pentru fluidizarea de granule sferice de cuarț cu apă.

Viteza $v_p$, dată de relația (13), reprezintă viteza fluidului între granule. Acestei viteze îi corespunde în coloana liberă de granule o viteză $v_a$ (*fig. 1*).

În același timp este cunoscut că între viteza $v_p$ și $v_a$ există relația $v_p = \frac{v_a}{\varepsilon}$ [1], [7].

Cu ajutorul celor două relații care ne dau pe $v_p$ se pot determina parametrii de fluidizare $\varepsilon$ și $v_a$.

Considerînd pe $\varepsilon$ ca parametru impus rezultă valoarea lui $v_a$ sau, fiind dat $v_a$, va rezulta $\varepsilon$.

In figura 2 sînt reprezentate grafic curbele

$$v_p = v_u \left[1 - \left(3\,\frac{1-\varepsilon}{4-\varepsilon}\right)^2\right]$$

pentru $d=0{,}1$, 0,4, 1,0 și 2,0 mm în cazul fluidizării cuarț-aer și curba $\frac{v_a}{\varepsilon} = f(\varepsilon)$ pentru $v_a \approx 4{,}2$ m/s.

Intersecția curbei $\frac{v_a}{\varepsilon}$ cu curbele $v_p = f(\varepsilon)$ pentru $d=1{,}0$ mm și $d=2{,}0$ mm ne dă valoarea $\varepsilon_{2,0} \approx 0{,}5$ și $\varepsilon_{1,0} \approx 0{,}67$. (Punctele de intersecție A și B din figură).

## 4 PIERDEREA DE PRESIUNE IN STRATUL FLUIDIZAT

### 4.1. Presiunea totală

Se admite că pierderea totală de presiune în stratul expandat este

$$p = \Delta p_s + \Delta p_f + \Delta p_v + \Delta p_a, \qquad (14)$$

în care:

- $p$ este pierderea totală de presiune, respectiv presiunea aplicată la baza stratului (kgf/m²),
- $\Delta p_s$ — pierderea de presiune statică în strat (kgf/m²),
- $\Delta p_f$ — pierderea de presiune datorită frecării fluidului cu granulele (kgf/m²),
- $\Delta p_v$ — pierderea de presiune datorită frecărilor cu pereții coloanei (kgf/m²),
- $\Delta p_a$ — pierderea de presiune pentru crearea vitezei $v_a$ a fluidului (kgf/m²).

Ori $\Delta p_v$ și $\Delta p_a$, avînd în general valori foarte mici față de $\Delta p_s$ și $\Delta p_f$, se neglijează, în care caz expresia (14) devine

$$p \approx \Delta p_s + \Delta p_f. \qquad (15)$$

### 4.2. Pierderea de presiune statică $\Delta p_s$

Se admite [7] pentru pierderea de presiune statică valoarea

$$\Delta p_s = h\,[\varepsilon\gamma_a + (1-\varepsilon)\,\gamma_m] = h_0\,\frac{1-\varepsilon_0}{1-\varepsilon}\,[\varepsilon\gamma_a + (1-\varepsilon)\,\gamma_m]. \qquad (16)$$

Admiţînd teoretic pentru $h_0$, $\varepsilon_0=0{,}3$ se trasează în *figurile 4* şi *5* curbele

$$\Delta p_s = f(\varepsilon) \text{ cu } h_0 = 1{,}0 = \text{constant},$$

$$\Delta p_s = f(\varepsilon) \text{ cu } h = 1{,}0 = \text{constant},$$

pentru cazul $\gamma_a = 1{,}2$ kgf/m³ (aer) şi $\gamma_a = 1\,000$ kgf/m³ (apă) $\gamma_m = 2\,600$ kgf/m³ (cuarţ); $h_0$=const reprezintă cazul cînd înălţimea coloanei este infinită iar h=const cazul unui strat fluidizat de înălţime dată.

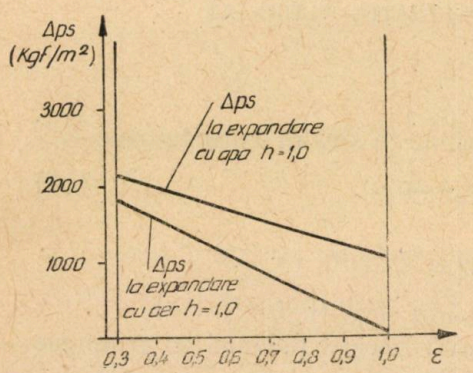



*Fig. 4.* Variaţia $\Delta p_s = f(\varepsilon)$ pentru h=1,0 la fluidizarea de granule de cuarţ cu aer şi apă.

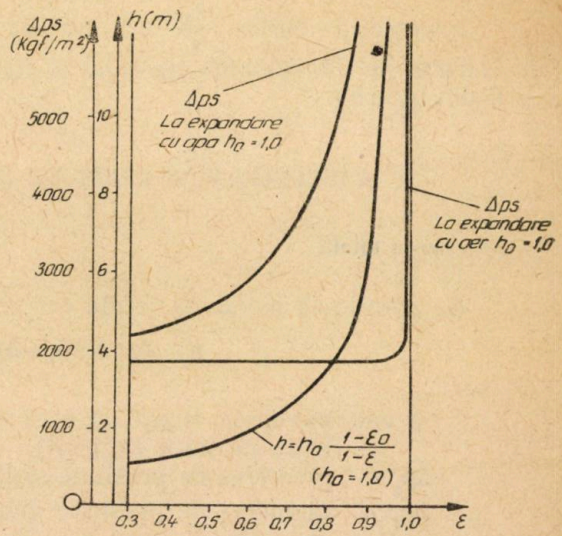



*Fig. 5.* Variaţia $\Delta p_s = f(\varepsilon)$ pentru $h_0=1{,}0$ la fluidizarea granulelor de cuarţ cu aer şi apă.

În cazurile practice, $\varepsilon_c$ va trebui să fie determinat experimental, Practic, $\varepsilon_0=0{,}3$—$0{,}5$.

### 4.3. Pierderea de presiune $\Delta p_s$

Pentru determinarea pierderii de presiune datorită frecării între granule şi fluid se aplică relaţia generală valabilă pentru scurgerea unui fluid printr-o conductă de diametru hidraulic $D_H$ şi lungime h [1], [2], [6] [7]:

$$\Delta p_f = k_0 \frac{\lambda v^2 \gamma_a h}{2gD_H}, \tag{17}$$

în care $k_0$ este coeficientul de strangulare a secţiunii [1], [7].

Se admite în relația de mai sus (17) viteza $v=v_p=\frac{v_a}{\varepsilon}$ și diametrul $D_H=D_h=\frac{2d\varepsilon}{3(1-\varepsilon)}$ (din relația (10)).

Înlocuind, se obține

$$\Delta p_f=k_0\frac{3\lambda v_a^2\gamma_a(1-\varepsilon)h}{4gd\varepsilon^3}. \tag{18}$$

Se consideră că scurgerea este laminară, respectiv

$$\lambda=\frac{64}{R_e'},$$

în care numărul Reynolds

$$R_e'=\frac{v_p\cdot D_h}{\nu}=\frac{2v_a d}{3\nu(1-\varepsilon)}. \tag{19}$$

Prin înlocuire, relația (18) devine

$$\Delta p_f=\frac{72k_0(1-\varepsilon)^2\gamma_a v_a\nu h}{\varepsilon^3 dg}. \tag{20}$$

Pentru $K_0=2{,}5$ [2], [7] expresia (20) devine

$$\Delta p_f=\frac{180(1-\varepsilon)^2\gamma_a v_a\nu h}{\varepsilon^3 dg}, \tag{21}$$

expresie identică cu cea găsită de Leva [2] pentru pierderea de presiune în stratul fix.

Admițînd că expresia (21) este valabilă nu numai pentru stratul fix ci și pentru cel expandat și ținîndu-se cont că $v_p=\frac{v_a}{\varepsilon}=f(\varepsilon)$, se poate trasa curba $\Delta p_f=f(\varepsilon)$, respectiv $\Delta p_f=f(v_a)$.

În *figurile 6* și *7* se vede alura curbelor $\Delta p_f=f(v_a)$ pentru granule sferice de cuarț de $d=1$ mm fluidizate cu apă și aer.

Observație. În cazul că scurgerea nu este laminară, respectiv pentru $R_e'>2\,320$ valoare lui $\lambda$ va fi cea corespunzătoare legilor de variație ale lui $\lambda=f(R_e)$.

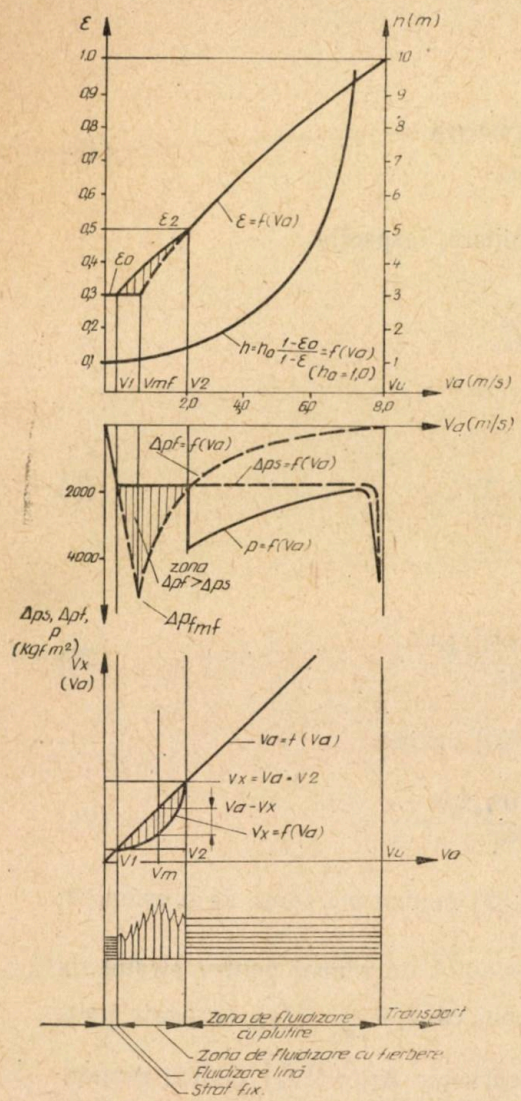



*Fig. 6.* Diagrama generală de fluidizare a granulelor de cuarț d=1 mm, fluidizate cu aer.

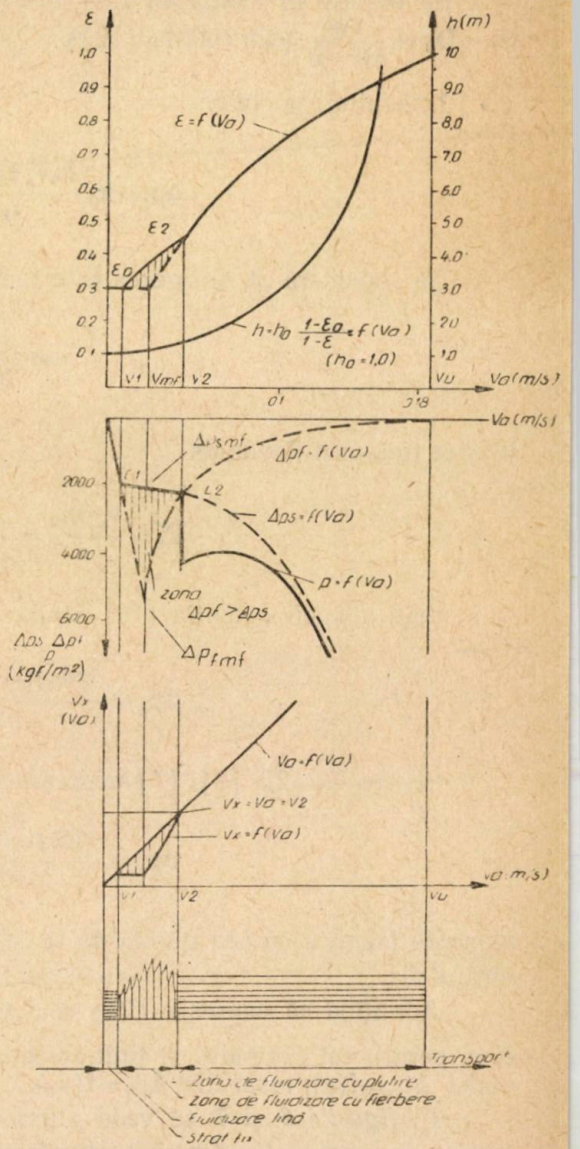



*Fig. 7.* Diagrama generală de fluidizare a granulelor de cuarț d=1 mm, fluidizate cu apă.

### 4.4. Puncte critice create de variația pierderilor de presiune

#### 4.4.1. *Interdependența dintre* $v_p$, $\Delta p_s$, $\Delta p_f$

Starea de fluidizare este creată de plutirea în strat a fiecărei granule, dată de relația (13), care ne dă valoarea lui $v_p$.

Simultan și ca urmare a existenței lui $v_p$ apar atît $\Delta p_s$ cît și $\Delta p_f$ toate fiind legate interdependent.

Întrucît $v_p$, $\Delta p_s$ și $\Delta p_f$ variază după alte legi (relațiile (13), (16), (21)) apar situații incompatibile unui strat fluidizat cu comportare de fluid. Astfel, de exemplu, apare situația $\Delta p_f > \Delta p_s$, cînd este evident că agentul de fluidizare nu va putea circula normal printre granule, fapt ce modifică starea de „fluid" a stratului fluidizat. Analiza curbelor de variație $\Delta p_s = f(\varepsilon)$ și $\Delta p_f = f(\varepsilon)$ ne arată apariția punctelor critice care modifică forma de fluidizare a stratului.

#### 4.4.2. *Punctele critice* $C_1$ *și* $C_2$

Trasînd curbele

$\varepsilon = f(v_a)$ cunoscută din funcția $v_p = \dfrac{v_a}{\varepsilon} = f(\varepsilon)$,

$\Delta p_s = f(v_a)$, dată de relația $\Delta p_s = [\varepsilon\gamma_a + (1-\varepsilon)\gamma_m]\, h$,

$\Delta p_f = f(v_a)$, dată de relația $\Delta p_f = \dfrac{180\,(1-\varepsilon)^2 \gamma_a v_a \nu h}{\varepsilon^3 d^2 g}$,

se obțin diagramele din *figurile 6* și *7*.

La construcția curbelor din diagramă s-au folosit o serie de puncte caracteristice:

$\varepsilon_0$ — adoptat teoretic = 0,30,

$v_{mf}$ — viteza de plutire (pentru $\varepsilon = \varepsilon_0 = 0{,}30$), determinată din curba $v_p = f(\varepsilon)$,

$v_u$ — viteza de plutire a unei granule, respectiv viteza de plutire în strat expandat pentru $\varepsilon \cong 1{,}0$.

Curbele sînt valabile pentru granule de cuarț de 1,0 mm, expandate în curent de apă și aer. În diagramă apar două puncte $C_1$ și $C_2$, date de intersecția curbelor $\Delta p_s$ cu $\Delta p_f$, cărora le corespunde $v_1$, $v_2$ respectiv $\varepsilon_0$, $\varepsilon_2$, $h_0$, $h_2$ Valoarea parametrilor de mai sus se poate determina nu numai grafic, ca mai sus, ci și analitic prin egalarea $\Delta p_s = \Delta p_f$. Punctele $C_1$ și $C_2$ reprezintă

puncte critice, care modifică complet forma de fluidizare. Ele împart cîmpul de fluidizare în trei zone :

**Zona I** cu $v_a < v_1$ respectiv $\Delta p_f < \Delta p_s$ și $\varepsilon = \varepsilon_0$,

**Zona II** cu $v_1 < v_a < v_2$ respectiv $\Delta p_f > \Delta p_s$ și $\varepsilon_0 < \varepsilon < \varepsilon_2$,

**Zona III** cu $v_2 < v_a < v_u$ respectiv $\Delta p_f < \Delta p_s$ și $\varepsilon_2 < \varepsilon < 1.0$.

— **Zona I** — este caracterizată prin aceea că stratul nu a început să expandeze, $v_a$ avînd o valoare mai mică decît $v_1$. Sub acțiunea lui $v_a$ apropiată de $v_1$, granulele intră în stare de vibrare și stratul capătă o oarecare mobilitate, respectiv o formă ușoară de fluidizare. În momentul cînd $\Delta p_f = \Delta p_s$ respectiv $v_a = v_1$ stratul se pune în mișcare și fluidizarea începe. Apare starea de fluidizare lină definită ca „particulate dense fluidization". Viteza $v_1$ a fost definită de M. Leva drept viteză minimă de fluidizare [2] și are o perfectă justificare considerînd ca început de fluidizare punerea în mișcare a stratului.

— În **zona II** — datorită simultaneității existenței lui $\Delta p_s$ și $\Delta p_s$ și întrucît rezistența $\Delta p_f$ opusă curentului de fluid este mai mare decît $\Delta p_s$, datorită existenței unei presiuni aplicate $p > \Delta p_s$ stratul în stare de fluidizare (care reprezintă o stare de curgere ca a unui lichid) va fi „spart" de debitul de fluid ce circulă în strat, în bule mari, fără ca granulele să ajungă total în stare de plutire. Stratul apare ca urmare a traversării brutale în forma unui fluid „în fierbere" (bubling). Ca urmare acestei fierberi apare și o amestecare a granulelor în strat. În această situație $\varepsilon$ va reprezenta o valoare medie, raportată la întregul strat. Un efect al apariției fierberii va fi acela că viteza fluidului printre granule nu va mai avea valoarea $\frac{v_a}{\varepsilon}$ ci o valoare mai mică. Fluidul se consumă în mare parte în „bule" și astfel granulele nu vor mai pluti într-o expandare corespunzătoare lui $\varepsilon$ mediu — ci unui $\varepsilon$ mai mic.

În același timp punctul de începere a expandării se mută din punctul $v_{mf}$ în $v_1$ iar $\varepsilon$ începe să crească urmărind curba plină din *figurile 6* și *7*. În practica fluidizării, în această zonă apare cîteodată în locul fenomenului de „fierbere" (bubling) fenomenul de pistonare (slugging) sau de canalizare (channeling), neanalizate în prezenta lucrare.

— În **zona III** — respectiv din momentul cînd $\Delta p_f < \Delta p_s$ pentru $v_a > v_2$ forma de fluidizare cu „fierbere" dispare și stratul apare liniștit. Fiecare granulă este în stare de plutire (particulate dilute fluidization). Existența situațiilor $\Delta p_f > \Delta p_s$ și $\Delta p_f < \Delta p_s$ reprezintă după cum s-a arătat fenomenul de bază care explică apariția celor trei forme de fluidizare „lină", cu „fierbere" și cu „plutire". Se observă din diagramă că viteza $v_{mf}$ nu apare ca un parametru ce definește starea de fluidizare. Ea nu a servit decît pentru determinarea ipotetică a valorii maxime a lui $\Delta p_f \cdot v_{mf}$ se va găsi între $v_1$ și $v_2$.

### 4.4.3. *Repartizarea debitului de fluid în strat*

În afară de punctele critice $C_1$ și $C_2$ în stratul fluidizat, mai precis în zona de fierbere cu $v_1 < v_a < v_2$ mai apare un punct interesant, și anume $v_m$ (anticipăm explicația) care reprezintă viteza cînd întregul ansamblu de granule intră în stare de plutire. Schematic stratul fluidizat, funcție de viteza $v_a$, se va prezenta ca în *figura 8*.

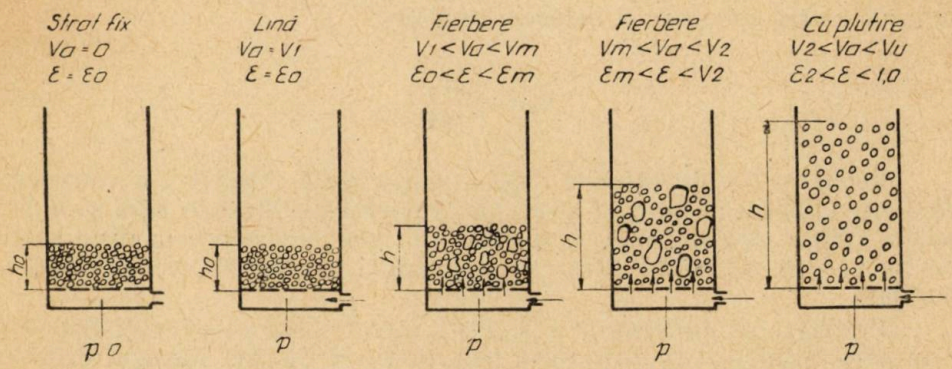



*Fig. 8.* Schema formei de fluidizare lină, cu fierbere și cu plutire.

### 4.4.3. *Determinarea curbei* $v_x = f(v_a)$

Dacă viteza medie a fluidului prin strat este $v_a$, debitul ce circulă prin strat va fi :

$$Q_a = S_a v_a \tag{23}$$

Acest debit în interiorul stratului se împarte în două și anume în

$$Q_x = S_a v_x \tag{24}$$

$$Q_f = S_a (v_a - v_x) \tag{25}$$

în care :

$v_x$ reprezintă viteza fluidului (la scara $v_a$) ce circulă printre granule, învăluindu-le și

$S_a$ — secțiunea coloanei de fluidizare.

Astfel $Q_f = S_a (v_a - v_x)$ va reprezenta debitul de fluid, care traversează stratul prin „spargere" respectiv în bule mari și care produce „fierberea".

Valoarea lui $v_x$ se deduce identic, cum s-a dedus $v_2$ cu deosebirea că nu se egalează $\Delta p_f = \Delta p_s$ ci se egalează $\Delta p'_f = \Delta p_s$ în care $\Delta p'_f$ este dat de relația

$$\Delta p'_f = \frac{180\,(1-\varepsilon)^2 \gamma_a v_x \nu h}{\varepsilon^3 d^2 g}, \tag{26}$$

Egalînd $\Delta p'_f$ cu $\Delta p_x$ și ținînd cont de valoarea lui $\Delta p_f$ dată de relația (21) prin eliminare și reducere se obține

$$v_x = v_a \frac{\Delta p_s}{\Delta p_f}. \tag{27}$$

Relația (27) nu exprimă fidel situația reală întrucît s-a considerat că $\varepsilon$ este uniform în întregul strat. Or în partea din strat în care se aplică relația (26) $\varepsilon$ este mai mic. Aproximația făcută ne conduce la niște valori ale lui $v_x$ date de relația (27) care vor fi mai mari decît cele ce există în realitate.

În diagrama din *figurile 6* și *7* s-a trasat curba $v_x = f(v_a)$. Este evident că punctul $v_x = v_a$ reprezintă punctul $C_1$ și $C_2$ cînd întregul debit de fluid circulă printre granule respectiv cînd „fierberea" dispare.

### 4.4.4. *Punctul critic* $v_m$

Este evident că atît timp cît $v_x$ este mai mic decît $v_{mf}$ granulele nu pot ajunge în stare de plutire și că deci $\varepsilon$ corespunzător lui $v_x$ va rămîne egal cu $\varepsilon_0$. Dacă $v_a$ va crește și respectiv $\varepsilon$ va crește și el se va ajunge la un moment cînd $v_x = v_{mf}$. În acest moment toate granulele vor începe să plutească. De data aceasta tot stratul se va găsi în stare de plutire. Ținîndu-se însă cont că pentru $v_x < v_2$, $\Delta p_f > \Delta p_s$ stratul va continua să „fiarbă".

Din relația (27) rezultă pentru momentul $v_x = v_{mf}$

$$v_m = v_{mf} \frac{\Delta p_{fmf}}{\Delta p_{smf}}. \tag{28}$$

### 4.4.5. *Gradul de „fierbere"*

O imagine asupra intensității fierberii ne-o dă relația:

$$\varphi = \frac{Q_f}{Q_a} = 1 - \frac{\Delta p_s}{\Delta p_f}. \tag{29}$$

O indicație asupra volumului de fluid ce produce fierberea ne-o va da relația

$$\Phi = v_a - v_x = v_a\left(1 - \frac{\Delta p_s}{\Delta p_f}\right). \tag{30}$$

Se observă că pentru ambele relații, $\varphi$ și $\Phi$ vor avea valoarea zero pentru $\Delta p_f = \Delta p_s$ respectiv în punctele critice $C_1$ și $C_2$.

**4.5. Valoarea reală a presiunilor aplicate stratului expandat**

4.5.1. *Generalități*

La paragraful 4.1 s-a admis relația (15) care exprimă valoarea presiunii teoretice ce trebuie aplicată stratului pentru a învinge rezistențele pe care le opune stratul fluidizat. Expresia (15) respectiv $p = \Delta p_s + \Delta p_f$ datorită „stării de fluid" a stratului nu are aplicabilitate în întregul cîmp de viteze. În fiecare din zonele separate de punctele critice $C_1$ și $C_2$ relația (15) se aplică altfel.

4.5.2. *Variația presiunii în zona* $v_1 < v_a < v_2$

La analiza punctelor critice s-a văzut că atît timp cît $\Delta p_f > \Delta p_s$ stratul este „spart" și că $\Delta p_f$ se „pierde" datorită „spargerii" stratului. Datorită acestui fenomen expresia presiunii devine:

$$p = \Delta p_s \tag{31}$$

valoarea care se constată efectiv în cazul fluidizării cu fierbere.

4.5.3. *Variația presiunii în zonele* $\Delta p_f > \Delta p_s$

Prin dispariția stării de fierbere relația

$$p = \Delta p_s + \Delta p_f \tag{32}$$

rămîne valabilă pînă la $\varepsilon = 1{,}0$ cînd $\Delta p_f = 0$.

Pentru punctul ($C_2$) unde $\Delta p_s = \Delta p_f$ relația de mai sus devine:

$$p = 2\Delta p_s = 2\Delta p_f \tag{33}$$

Ținîndu-se cont de relațiile (31), (32), (33) variația lui p capătă forma indicată în diagramele 6 și 7 cu linie plină.

(Se reamintește că la determinarea lui p s-a neglijat $\Delta p_v$ și $\Delta p_a$ care însă cînd $v_a$ este mare și $h_0$ este mic pot atinge valori care nu mai pot fi neglijate.)

## 5. DIAGRAMA GENERALĂ A FLUIDIZĂRII

Cunoscînd legile de variație ale parametrilor principali ce intervin la fluidizare ε, h, p, $\Delta p_s$, $\Delta p_f$ funcție de $v_a$ se pot trasa, pe o singură diagramă, curbele corespunzătoare. Se poate avea astfel o imagine completă asupra corelațiilor ce există între toți acești parametri.

Este evident că această diagramă trebuie trasată pentru fiecare sistem „granulă+agent de fluidizare" și că nu este valabilă decît pentru acest sistem.

În *figurile 6* și *7* s-au trasat diagramele (calculate cu oarecare aproximație) de fluidizare pentru granule de cuarț de diametru d=1,0 aduse în stare de fluidizare cu aer și apă. Diagramele sînt valabile pentru $h_0$=constant. În tabela de mai jos sînt extrase momentele principale din diagramele de fluidizare cu efectele asupra formei de fluidizare a stratului:

| $v_a$ | ε | p | $\frac{\Delta p_f}{\Delta p_s}$ | Forma stratului |
|---|---|---|---|---|
| 0 | $\varepsilon_0$ | 0 | 0 | Fix nemișcat |
| $0<v_a<v_1$ | $\varepsilon_0$ | $\Delta p_f$ | <1,0 | Granulele în ușoară vibrare. Stratul fix |
| $v_1$ | $\varepsilon_0$ cu ușoară expandare | $\Delta p_s=\Delta p_f$ | 1,0 | Granulele în stare de vibrare fără plutire. Fluidizare lină (particulate dense fluidization). Tendință de fierbere |
| $v_1<v_a<v_m$ | $\varepsilon_0<\varepsilon<\varepsilon_m$ | $\Delta p_s$ | >1,0 | Fierbere. Granulele parțial în plutire. (Agregative fluidization, bubling) |
| $v_m$ | $\varepsilon_m$ | $\Delta p_s$ | >1,0 | Fierbere puternică. Toate granulele în plutire |
| $v_m<v_a<v_2$ | $\varepsilon_m<\varepsilon<\varepsilon_2$ | $\Delta p_s$ | >1,0 | Fierbere în scădere. Toate granulele în plutire |
| $v_2$ | $\varepsilon_2$ | $\Delta p_s=\Delta p_f$ | 1,0 | Dispariția fierberii. Granulele în plutire (particulate dilute fluidization) |
| $v_2<v_a<v_u$ | $\varepsilon_2<\varepsilon<1,0$ | $\Delta p_s+\Delta p_f$ | <1,0 | Diluarea în granule, strat diluat. (Particulate dilute fluidization) |
| $v_u$ | 1,0 | $(\Delta p_a+\Delta p_v)$ | — | Dispariția granulelor (transport) |

## 6. OBSERVAȚII ASUPRA DIAGRAMEI DE FLUIDIZARE ȘI A RELAȚIILOR DE BAZĂ ALE DIAGRAMEI

Diagramele de fluidizare și relațiile de bază ale lor, prezentate în *figurile 6* și *7*, trebuie completate cu unele observații care explică cîteva fenomene ce apar la fluidizare.

### 6.1. Granule de dimensiuni egale (d)

Pentru situația cînd pe întregul cîmp al vitezei realizate $\Delta p_f < \Delta p_s$ este evident că nu mai apar punctele critice $C_1$ și $C_2$, stratul nu va mai prezenta forma de fluidizare cu fierbere sau pistonare ci numai stările de lină și cu plutire. In acest caz va apărea un singur punct critic și anume $v_m$, cînd stratul trece direct de la starea de fluidizare lină la starea cu plutire.

Cunoașterea punctelor $C_1$ și $C_2$ permite împărțirea întregului cîmp $v_p = f(\varepsilon)$ pentru diverse valori ale lui d în două zone: cu și fără fierbere.

Curba $\Delta p_f = \Delta p_s$ din *figurile 2* și *3* delimitează cele două zone.

Curbele $\Delta p_f = \Delta p_s$ permit a se face prevederi asupra formei de fluidizare și a vitezelor corespunzătoare, ce se pot obține cu granulele de diverse dimensiuni.

### 6.2. Granule de dimensiuni diferite

Relațiile determinate, respectiv curbele $v_p = f(\varepsilon)$ pentru diverse dimensiuni ale lui d, permit a se stabili cîteva reguli ce privesc un amestec de granule de diverse dimensiuni.

Dacă în amestec există granule cu $v_u < v_a$ acestea vor avea tendința de a fi separate și transportate din strat (Elutriere).

Dacă în amestec, toate granulele prezintă $v_2 > v_a$ va exista numai starea de „fierbere" „pistonare" sau „canalizare".

Dacă există unele granule cu $v_2 < v_a < v_u$ și altele cu $v_2' > v_a > v_1$ granulele vor avea tendința de a se separa în două straturi, unul în stare de plutire ($v_2 < v_a$) și altul în stare de fierbere ($v_2' > v_a$).

Dacă pentru fiecare din granulele din amestec $v_u > v_a > v_2$ acestea se vor separa și stratifica după dimensiunile d și valoarea $\varepsilon$.

Din diagrama din *figura 2* se poate deduce mecanismul de separare. Curba $v_a/\varepsilon$ taie curbele $v_p = f(\varepsilon)$ pentru fiecare valoare a lui d la altă valoare a lui $\varepsilon$.

Granulele de dimensiuni mari, cu $\varepsilon$ mic, se plasează în straturile inferioare, punctul A.

Fenomenul prezintă un interes deosebit pentru aplicarea la sortarea după dimensiuni a amestecurilor de granule de forme și dimensiuni diferite.

## 7. APLICAȚII PRACTICE

Cunoașterea corelațiilor ce există între diverși parametri permite prevederea condițiilor ce trebuie îndeplinite pentru a se crea starea de fluidizare dorită. Ca aplicații practice se pot enunța cîteva :

— Prevederea prin calcul a condițiilor de funcționare a reactoarelor cu fluidizare.

— Stabilirea prin calcul a limitelor de dimensiuni a granulelor, în reactoare.

— Sortări foarte precise de granule de dimensiuni mici.

— Concentrări de materiale granulare de greutăți specifice diferite, prin sortări simptotice cu doi agenți de fluidizare.

— Calculul transportului de granule (în canale și conducte).

## 8. CONCLUZII

În studiul prezentat apare un parametru nou, ce nu este semnalat în teoria cunoscută a fluidizării :

— Viteza de plutire a granulei în strat $v_p = f(\varepsilon)$.

Cunoscînd pe $v_p = \frac{v_a}{\varepsilon} = f(\varepsilon)$ se pot trasa familiile de curbe :

$$\varepsilon = f(v_a), \quad \Delta p_s = f(v_a) \quad \Delta p_f = f(v_a) \qquad h = f(v_a) \tag{34}$$

pentru diverși agenți de fluidizare și diverse granule aduse în stare de fluidizare.

Punctele critice $C_1$ și $C_2$ pentru $\Delta p_s = \Delta p_f$ ne dau criteriul de determinare a schimbării formei de fluidizare.

Curbele (34) și punctele $C_1$, $C_2$ pentru un anumit agent și anumit material reprezintă „diagrama de fluidizare" a materialelor respective.

*OBSERVAȚIE :* Întrucît autorul nu a avut decît parțial mijloace de verificare practică a teoriei prezentate, pentru ca relațiile stabilite să poată fi considerate valabile, sînt necesare determinări experimentale corespunzătoare. Vor trebui făcute încercări cu diverse fluide, cu granule de dimensiuni și forme diferite, cu care ocazie ar urma să se determine și coeficienți practici.

## BIBLIOGRAFIE

1. Donalt F. Othmere (1962): *Fluidization*, Ed. Mc. Graw-Hill. New-York.
2. Max Leva (1959): *Fluidization*, Ed. Mc. Graw-Hill. New-York.
3. I. Esayan, M. Esayan (1959): *Fluidizarea*, Ed. tehnică — București.
4. L. Prandl (1942): *Strömungslehre*, Ed. I. Springer — Berlin.
5. I. Huber-Panu (1956): *Manualul ing. de mine*, Ed. tehnică — București.
6. A. Bulat, (1962): Instalații de transport pneumatic, Ed. tehnică — București.
7. Klaus Keuneke (1965): Fluidisierung und Fliessbettförderungen von Schüttgütern kleiner Teilchengrösse. *VDI — Forschungsheft, 509* — 1965, VDI Verlag — Düsseldorf.

*Manuscris primit în mai, 1967*

# STUDIUL PROCESULUI DE ZEȚAJ PRIN METODA ANALIZEI DIMENSIONALE

B. NAGY

*Institutul de mine — Petroșani*

In cadrul articolului se prezintă aplicarea analizei dimensionale în studiul capacității specifice de trecere a produselor grele separate din cărbunele brut clasa 0—10 mm, în cadrul procesului de concentrare prin zețaj prevăzut cu pat artificial.

Analiza funcțională ce exprimă variația capacității specifice în funcție de coeficienții care caracterizează proprietățile patului artificial și a regimului hidraulic de funcționare a mașinilor de zețaj a permis să se stabilească parametrii optimi privind greutatea specifică, dimensiunea, forma granulelor, înălțimea patului artificial, precum și amplitudinea și numărul pulsațiilor apei pe minut. Pentru aprecierea funcționării mașinilor de zețaj prevăzute cu pat artificial se introduce un criteriu nou (Froude modificat), în funcție de care se face categorisirea zețajului de înaltă sau joasă frecvență.

In concluzie sînt relevate forțele determinante ce intervin în cadrul procesului de concentrare prin zețaj a materialului mărunt.

Procesul de concentrare prin zețaj este o metodă larg întrebuințată la prepararea minereurilor și, în special, la prepararea cărbunilor. Cu toate acestea, nici pînă în prezent teoriile și ipotezele emise privind concentrarea prin zețaj, nu pot răspunde integral la numeroasele probleme de reglare și conducere selectivă a procesului.

Este semnificativ faptul că majoritatea studiilor teoretice sînt în legătură cu procesul propriu zis de separare, pe baza greutății specifice diferite a materialului din alimentare. Dacă în această privință ecuațiile diferențiale [2], [4], precum și teoria energiei potențiale [3], pot aduce o contribuție importantă în privința explicării fenomenelor fizice petrecute, ele nu pot răspunde la complexitatea problemelor ridicate de zețajul materialului mărunt și, în special, asupra influenței patului artificial în procesul de concentrare și de evacuare a produselor grele. Insuficienta preocupare privind concentrarea materialului mărunt, stabilirea parametrilor hidraulici și a caracteristicilor patului artificial, sînt dovedite prin faptul că, la ora actuală, există păreri diferite privind folosirea zețajului de înaltă sau joasă frecvență, pre-

cum şi prin faptul că pentru materialul patului filtrant pentru cărbune se folosesc, în cadrul preparaţiilor din ţară şi din străinătate, aproape exclusiv granule de feldspat.

Faţă de această situaţie, în cele ce urmează aplicăm metoda de analiză dimensională larg întrebuinţată în rezolvarea diferitelor probleme de modelare a diferitelor procese tehnice, pentru studiul şi determinarea capacităţii specifice de trecere a produselor grele separate din cărbunele brut (clasa 0—10 mm) prin zeţaj, prevăzut cu pat artificial (filtrant). Menţionăm că prin metoda de analiză dimensională se vor putea grupa factorii ce influenţează capacitatea specifică sub formă de coeficienţi adimensionali, care ne va permite să facem o analiză calitativă a procesului de concentrare, în ansamblul lui.

Pentru a cuprinde cît mai bine fenomenele complexe care au loc în cadrul procesului studiat, metoda de analiză dimensională se combină cu încercări experimentale, determinîndu-se toţi factorii esenţiali care ar putea să influenţeze variaţia parametrului studiat.

I. Fie parametrul necunoscut N exprimat printr-o funcţională de forma :

$$N=f(n_1, n_2, n_3, \ldots n_k) \tag{1}$$

care depinde de o serie de factori $n_1, n_2, \ldots n_k$.

Cele $k+1$ mărimi (inclusiv N) ce figurează în ecuaţia (1) pot fi considerate unele constante, altele variabile. În ceea ce priveşte dimensiunile parametrilor, aceştia pot fi cu şi fără dimensiuni. Dintre cele $k+1$ mărimi, iniţial se aleg pentru trei mărimi în aşa fel dimensiunile, încît cu ajutorul acestora să se poată exprima dimensiunile celorlalte k—2 mărimi.

În cazul proceselor hidraulice, de care aparţin şi procesele gravitaţionale de concentrare, este util ca cele trei dimensiuni să fie următoarele :

— viteza curentului de apă $[u]=cm/sec$ ;

— o lungime oarecare $[L]=cm$ ;

— densitatea $[\rho]=\frac{gf \cdot sec^2}{cm^4}$.

Pe baza acestor consideraţii ecuaţia dimensională a mărimii necunoscute căutate N, definită de ecuaţia fundamentală (1), se va exprima astfel :

$$[N]=[u_0]^x [L_0]^y [\rho_0]^z \tag{2}$$

iar ecuaţia dimensională a unuia din parametrii $n_i$ va fi :

$$[n_i]=[u_0]^{x_i} [L_0]^{y_i} [\rho_0]^{z_i} \tag{3}$$

unde x, y, z şi $x_i$, $y_i$, $z_i$ sînt dimensiunile mărimilor respective.

Valoarea mărimilor N și $n_i$, luate în sistemul unităților de bază (centimetru, secundă, gram-forță), pot fi exprimate prin cifre adimensionale:

$$\pi = \frac{N}{u_0^x L_0^y \rho_0^z}; \quad \pi_i = \frac{n_i}{u_0^{x_i} L_0^{y_i} \rho_0^{z_i}} \tag{4}$$

unde:

$$\pi_i = 1 \text{ pentru } n_i = u_0, L_0, \rho_0 \ (i = 1, 2, 3).$$

În consecință, ecuația (1) poate fi transcrisă astfel încît toate mărimile să fie exprimate în unități relative în raport cu $u_0$, $L_0$ și $\rho_0$, adică:

$$\frac{N}{u_0^x L_0^y \rho_0^z} = f\left(\frac{n_1}{u_0^{x_1} L_0^{y_1} \rho_0^{z_1}}, \frac{n_2}{u_0^{x_2} L_0^{y_2} \rho_0^{z_2}}, \ldots \frac{n_k}{u_0^{x_k} L_0^{y_k} \rho_0^{z_k}}\right) \tag{5}$$

sau pe baza relațiilor (4), ecuația de mai sus poate fi scrisă și astfel:

$$\pi = f(1, 1, 1, \pi_4, \pi_5, \ldots \pi_k). \tag{6}$$

Relația (6) constituie așa zisa teoremă $\pi$ [1], care permite să se stabilească legături funcționale între anumiți factori grupați după anumite legi, și raporturile lor dimensionale.

Încercările experimentale efectuate pentru determinarea capacității specifice a patului artificial și a randamentului de concentrare pentru cărbune mărunt prin zețaj (pentru o compoziție granulometrică și înălțime constantă ale materialului din alimentare) arată că ecuația funcțională care descrie procesul este:

$$q = f(u, A, \rho_m, \rho_p, H_p, d_p, g, \mu, \theta_i) \tag{7}$$

unde:

q este capacitatea specifică a patului, $\frac{gf}{sec \cdot cm^2}$;

u — viteza maximă a curentului de apă, cm/sec.;

A — amplitudinea pulsației apei, cm;

$\rho_m$ — și $\rho_p$ — densitățile corespunzătoare materialului din alimentare și granulele patului, $\frac{gf \cdot sec^2}{cm^4}$;

$d_p$ — diametrul granulelor patului artificial, cm;

$H_p$ — înălțimea patului artificial, cm;

g — accelerația gravitațională, cm/sec²;

$\mu$ — coeficientul de viscozitate dinamică al apei, $\frac{gf \cdot sec}{cm^2}$;

$\theta_i$ — porozitatea inițială a patului artificial.

Alegînd pentru dimensiunile de bază u, A și $\rho_m$, conform teoremei $\pi$ și a relațiilor (5), (6), vom avea:

$$\tau = f(1, 1, 1, \tau_4, \tau_5, \tau_6, \tau_7, \tau_8, \theta_i) \tag{8}$$

unde :

$$\tau = \frac{q}{u^x A^y \rho_m^z}; \quad \tau_4 = \frac{\rho_p}{u^{x_1} A^{y_1} \rho_m^{z_1}}; \quad \tau_5 = \frac{H_p}{u^{x_2} A^{y_2} \rho_m^{z_2}}$$

$$\tau_6 = \frac{d_p}{u^{x_3} A^{y_3} \rho_m^{z_3}}; \quad \tau_7 = \frac{g}{u^{x_4} A^{y_4} \rho_m^{z_4}}; \quad \tau_8 = \frac{\mu}{u^{x_5} A^{y_5} \rho_m^{z_5}}. \tag{9}$$

Ecuația dimensională a capacității specifice q, pe baza unităților fundamentale alese, este :

$$[q] = [u^x A^y \rho_m^z]$$

de unde, prin identificare, deducem următoarele valori pentru exponenții parametrilor :

$x = 3$ ; $y = -1$ ; $z = 1$.

Procedînd în mod analog și pentru celelalte mărimi rămase, vom obține :

$x_1 = 0$ ; $y_1 = 0$ ; $z_1 = 1$
$x_2 = 0$ ; $y_2 = 1$ ; $z_2 = 0$
$x_3 = 0$ ; $y_3 = 1$ ; $z_3 = 0$
$x_4 = 2$ ; $y_4 = -1$ ; $z_4 = 0$
$x_5 = 1$ ; $y_5 = 1$ ; $z_5 = 1$.

Pe baza rezultatelor obținute, coeficienții $\tau$ și $\tau_i$ ($i = 4—8$) din relația (9) capătă forma :

$$\tau = \frac{qA}{u^3 \rho_m}; \quad \tau_4 = \frac{\rho_p}{\rho_m}; \quad \tau_5 = \frac{H_p}{A}; \quad \tau_6 = \frac{d_p}{A}; \quad \tau_7 = \frac{g \cdot A}{u^2}; \quad \tau_8 = \frac{\mu}{uA\rho_m}. \tag{10}$$

Este deosebit de important să observăm că expresia $\tau_7$ este analogă cunoscutei formule a lui Froude, utilizată în hidraulica fluidelor, iar $\tau_8$ reprezintă criteriul modificat al lui Reynolds. Ca urmare, relația (8) poate fi transcrisă sub forma :

$$\frac{q \cdot A}{u^3 \rho_m} = f\left(\frac{\rho_p}{\rho_m}, \frac{H_p}{A}, \frac{d_p}{A}, \frac{1}{F_r^*}, \frac{1}{R_e^*}, \theta_i\right) \tag{11}$$

unde

$F_r^* = \frac{u^2}{gA}$ criteriul modificat al lui Froude ;

$R_e^* = \frac{u \cdot A \cdot \rho_m}{\mu}$ criteriul modificat al lui Reynolds.

**II.** În cadrul acestui paragraf ne vom ocupa de exprimarea variației capacității specifice a patului artificial q, prezentat sub forma coeficientului $\tau = \frac{q \cdot A}{u^3 \rho_m}$ pentru patru fracțiuni densimetrice diferite (cărbune cu greutatea specifică medie $\delta_c = 1{,}37$ g/cm³, mixte cu $\delta_i = 1{,}61$ g/cm³, steril cu $\delta_s = 2{,}19$ g/cm³ cărbune brut cu $\delta_b = 1{,}59$ g/cm³) în funcție de coeficienții $\tau_4$, $\tau_5$, $\tau_6$, $\tau_7$, $\tau_8$ și $\theta_i$ stabiliți cu relațiile (10).

### A. Dependența lui $\tau$ de coeficienții $\tau_4$, $\tau_5$, $\tau_6$ și $\theta_i$ care caracterizează parametrii patului artificial

În tabelele 1 și 2 sînt trecute datele privind condițiile încercărilor de laborator la stabilirea influenței greutății specifice a granulelor patului $\delta_p$, a dimensiunii acestora $d_p$, a înălțimii patului $H_p$, a factorului de formă (cubică, cilindrică, neregulată și sferică) exprimat prin porozitatea inițială

*Tabela 1*

| $\delta_p$ g/cm³ | q g/cm²·sec | $\eta$ % | $\frac{qA}{u^3\delta m} \cdot 10^{-3}$ | $\tau_4 = \frac{\delta_p}{\varrho_m}$ | $H_p$ cm | q g/cm²·sec | $\eta$ % | $\frac{q \cdot A}{u^3 \delta m} \cdot 10^{-3}$ | $\tau_5 = \frac{H_p}{A}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Cărbune curat, $\delta_c = 1{,}37$ g/cm³ ; $\rho_c = 0{,}0140$ g sec²/cm⁴* | | | | | | | | | |
| 1,31 | 0,0230 | — | 1,46 | 0,96 | 3,0 | 0,1120 | — | 7,10 | 5,46 |
| 1,81 | 0,0225 | — | 1,43 | 1,32 | 5,0 | 0,0603 | — | 3,83 | 9,10 |
| 2,09 | 0,0363 | — | 2,31 | 1,52 | 7,0 | 0,0512 | — | 3,25 | 12,72 |
| 2,33 | 0,0280 | — | 1,78 | 1,70 | 8,5 | 0,0466 | — | 2,95 | 15,45 |
| 2,50 | 0,0363 | — | 2,34 | 1,82 | 11,0 | 0,0457 | — | 2,90 | 20,00 |
| *Mixte, $\delta_i = 1{,}61$ g/cm³ ; $\rho_i = 0{,}00164$ g sec²/cm⁴* | | | | | | | | | |
| 1,31 | 0,1010 | — | 5,45 | 0,81 | 3,0 | 0,1370 | — | 7,41 | 5,46 |
| 1,81 | 0,0426 | — | 2,30 | 1,12 | 5,0 | 0,0735 | — | 3,97 | 9,10 |
| 2,09 | 0,0450 | — | 2,42 | 1,30 | 7,0 | 0,0648 | — | 3,50 | 12,72 |
| 2,33 | 0,0398 | — | 2,16 | 1,45 | 8,5 | 0,0726 | — | 3,94 | 15,45 |
| 2,50 | 0,0605 | — | 3,26 | 1,55 | 11,0 | 0,0868 | — | 4,70 | 20,00 |
| *Steril, $\delta_s = 2{,}19$ g/cm³ ; $\rho_s = 0{,}00223$ g sec²/cm⁴* | | | | | | | | | |
| 1,31 | | — | — | 0,60 | 3,0 | 0,2430 | — | 9,68 | 5,46 |
| 1,81 | 0,0860 | — | 3,42 | 0,83 | 5,0 | 0,1080 | — | 4,30 | 9,10 |
| 2,09 | 0,0650 | — | 2,58 | 0,95 | 7,0 | 0,0705 | — | 2,81 | 12,72 |
| 2,33 | 0,0583 | — | 2,32 | 1,06 | 8,5 | 0,0715 | — | 2,85 | 15,45 |
| 2,50 | 0,0543 | — | 3,48 | 1,14 | 17,0 | 0,1010 | — | 4,03 | 20,00 |
| *Cărbune brut, $\delta_b = 1{,}59$ g/cm³ ; $\rho_b = 0{,}00162$ g sec²/cm⁴* | | | | | | | | | |
| 1,31 | 0,0511 | 45,7 | 2,81 | 0,82 | 3,0 | 0,0957 | 45,4 | 5,26 | 5,46 |
| 1,81 | 0,0320 | 55,6 | 1,65 | 1,14 | 5,0 | 0,06 0 | 46,7 | 3,74 | 9,10 |
| 2,09 | 0,0380 | 61,7 | 2,09 | 1,31 | 7,0 | 0,0536 | 43,0 | 3,50 | 12,72 |
| 2,33 | 0,0293 | 47,6 | 1,61 | 1,46 | 8,5 | 0,0674 | 51,3 | 3,71 | 15,45 |
| 2,50 | 0,0450 | 52,8 | 2,47 | 1,57 | 11,0 | 0,0598 | 54,4 | 3,29 | 20,00 |

*Tabela 2*

| $d_p$ cm | q g/cm²·sec | η % | $\frac{q \cdot A}{u^3 \varrho m} 10^{-3}$ | $\tau_\theta = \frac{d_p}{A}$ | $\theta_i$ | q g/cm²·sec | η % | $\frac{q \cdot A}{u^3 \varrho m} \cdot 10^{-3}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Cărbune curat, $\delta_c$=1,37 g/cm³ ; $\rho_c$=0,00140 g sec²/cm⁴* | | | | | | | | |
| 1,0 | 0,0085 | — | 0,52 | 1,82 | 0,288 | 0,0088 | — | 0,56 |
| 1,3 | 0,0263 | — | 1,48 | 2,38 | 0,350 | 0,0419 | — | 2,66 |
| 1,6 | 0,0452 | — | 2,88 | 2,91 | 0,411 | 0,0372 | — | 2,36 |
| 2,0 | 0,1160 | — | 7,38 | 3,63 | 0,481 | 0,1232 | — | 7,81 |
| *Mixte, $\delta_i$=1,61 g/cm³ $\rho_i$=0,00164 g sec²/cm⁴* | | | | | | | | |
| 1,0 | 0,0118 | — | 0,64 | 1,82 | 0,288 | 0,0233 | — | 1,26 |
| 1,3 | 0,0323 | — | 1,75 | 2,38 | 0,350 | 0,0303 | — | 2,98 |
| 1,6 | 0,0636 | — | 3,39 | 2,91 | 0,411 | 0,0210 | — | 2,07 |
| 2,0 | 0,1730 | — | 9,39 | 3,63 | 0,481 | 0,8580 | — | 8,45 |
| *Steril, $\delta_s$=2,19 g/cm³ ; $\rho_s$=0,00223 g sec²/cm⁴* | | | | | | | | |
| 1 0 | 0,0380 | — | 1,52 | 1,82 | 0,288 | 0,0268 | — | 1,07 |
| 1 3 | 0,0580 | — | 2,31 | 2,38 | 0,350 | 0,0692 | — | 2,76 |
| 1 6 | 0,0955 | — | 3,80 | 2,91 | 0,411 | 0,0743 | — | 2,96 |
| 2,0 | 0,2890 | — | 11,89 | 3,63 | 0,481 | 0,2680 | — | 10,68 |
| *Cărbune brut, $\delta_b$=1,59 g/cm³ ; $\rho_b$=0,00162 g sec²/cm⁴* | | | | | | | | |
| 1,0 | 0,0132 | 46,5 | 0,75 | 1,82 | 0,288 | 0,0195 | 49,4 | 1,07 |
| 1,3 | 0,0270 | 59,6 | 1,48 | 2,38 | 0,350 | 0,0470 | 60,7 | 2,58 |
| 1,6 | 0,0501 | 61,6 | 2,75 | 2,91 | 0,411 | 0,0405 | 64,1 | 2,23 |
| 2,0 | 0,1200 | 43,9 | 6,60 | 3,63 | 0,481 | 0,1619 | 34,1 | 8,90 |

a stratului $\theta_i$, asupra variației capacității specifice q și a randamentului de concentrare $\eta$. Tot aici sînt trecute și valorile corespunzătoare pentru $\tau$, $\tau_4 \div \tau_6$.

In cadrul tuturor încercărilor privind studiul caracteristicilor patului, s-au menținut constant parametrii hidraulici de funcționare ai mașinii de zețaj (A=0,55 cm și n=319 t/minut) realizîndu-se un curent pulsatoriu de apă cu viteză $u = A\omega = \frac{\pi}{30} An = 18{,}4$ cm/sec.

Cu datele cuprinse în tabelele 1 și 2 s-au trasat curbele de variație ale lui $\tau$ în funcție de $\tau_4$—$\tau_6$ și $\theta_i$ (*fig. 1—4*), pentru cărbune (curba 1), steril (curba 2), mixte (curba 3), cărbune brut (curba 4) și a randamentului de concentrare a cărbunelui brut $\eta$ pentru o greutate specifică de separare 1,8 g/cm³.

**a)** Analiza funcției $\tau = f\left(\frac{\delta_p}{\delta_m}\right)$ (*fig. 1*), ne arată că variația curbelor pentru toate fracțiunile densimetrice (curbele 1—4) este similară și anume, cu creșterea coeficientului $\frac{\delta_p}{\delta_m}$ la început se observă o scădere a lui $\tau$ pînă la

un minim, urmează apoi o variaţie neînsemnată (excepţie curba 2), după care se înregistrează o pronunţată creştere. Creşterea accentuată a lui $\tau$ pentru diferitele fracţiuni densimetrice, se înregistrează cu un decalaj corespunzător valorilor lui $\tau_4 = 1{,}1$ pentru steril, $\tau_4 = 1{,}4$ pentru mixte şi $\tau_4 = 1{,}65$ pentru cărbune curat.

Variaţiile curbelor $\tau$ pentru fracţiunile densimetrice curate, componente cărbunelui brut, se reflectă şi asupra randamentului de preparare (curba $\eta$). Astfel creşterea şi atingerea de maximum a randamentului în intervalul $\tau_4 = 1{,}06—1{,}31$, se explică prin pierderile reduse de fracţiuni uşoare (cărbune şi mixte) în produsul greu obţinut sub ciurul maşinii.

Decalajul creşterii succesive a coeficientului $\tau$ pentru diferitele fracţiuni densimetrice în raport cu $\tau_4$, este cauzat de creşterea treptată a efectului de aspirare (sugere) a patului de material, ca urmare a micşorării (corespunzătoare creşterii greutăţii specifice a granulelor patului artificial) coeficientului de afînare pntru aceleaşi condiţii hidraulice. Această îngustare treptată a canalelor patului va cauza creşterea vitezei apei în spaţiile intergranulare (îndeosebi pentru $\frac{\delta_p}{\delta_m} > 1{,}7$), care va avea ca efect antrenarea în primul rînd a particulelor mărunte uşoare de material în produsele finite grele (sub ciur), fenomen ce dezechilibrează întreg procesul de separare pe bază de greutate specifică (curba $\eta$ scade).

In scopul realizării unei separări selective, indiferent de compoziţia fracţionară a cărbunelui brut, greutatea specifică a granulelor patului pentru diferitele compartimente ale maşinii de zeţaj va trebui să fie diferită, stabilindu-se în funcţie de limitele optime ale coeficientului $\tau_4$. Pentru separarea (evacuarea) sterilului din primul compartiment $\tau_4 = \frac{\delta_p}{\delta_c} = 1{,}1—1{,}3$, iar pentru compartimentul de separare al mixtelor $\tau_4 = \frac{\delta_p}{\delta_c} = 1{,}6—1{,}7$.

**b)** Aşa cum arată teorema $\pi$, caracteristicile liniare ale patului artificial (înălţimea şi dimensiunea granulelor), sînt în funcţie numai de amplitudinea pulsaţiei apei A (10).

Pentru valoarea constantă a amplitudinii pulsaţiei apei A, creşterea înălţimii patului pînă la $\frac{H_p}{A} = 10$ (*fig. 2*) cauzează o micşorare accentuată a coeficientului $\tau$ pentru fracţiunile grele (curba 2) şi o scădere lină a lui $\tau$ pentru celelalte fracţiuni densimetrice (curbele 1, 3, 4), valorile minime atingîndu-se la diferite raporturi $\frac{H_p}{A}$.

Astfel, pentru steril, acest minimum se înregistrează pentru $\frac{H_p}{A} = 14$, pentru mixte $\frac{H_p}{A} = 11$, iar pentru cărbunele curat minimum nu apare în figură, curba 1 scade în continuu.

| n t/min | A cm | u cm/sec | q, g/cm²·sec | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cărbune curat $\delta_c$=1,37 | Steril $\delta_s$=2,19 | Cărbune brut $\delta_b$=1,59 |
| 60 | 0,55 | 3,46 | 0,0132 | 0,0242 | 0,0185 |
| 130 | 0,55 | 7,48 | 0,0308 | 0,0803 | 0,0521 |
| 230 | 0,55 | 13,24 | 0,0430 | 0, 914 | 0,0524 |
| 330 | 0,55 | 19,00 | 0,0478 | 0,1191 | 0,0526 |
| 490 | 0.55 | 28,22 | 0,0350 | 0,1035 | 0,0550 |
| 620 | 0,55 | 35,65 | 0,0388 | 0,1010 | 0,0676 |
| 710 | 0,55 | 40,90 | 0,0352 | 0,0593 | 0,0473 |
| 140 | 0,45 | 6,60 | 0,0274 | 0,0750 | 0,0475 |
| 140 | 0,80 | 11,75 | 0,0300 | 0,0973 | 0,0553 |
| 140 | 1,10 | 16,13 | 0,0488 | 0,1104 | 0,0645 |
| 140 | 1,40 | 20,55 | 0,0658 | 0,1330 | 0,0750 |
| 140 | 1,80 | 26,40 | 0,0316 | 0,1800 | 0,1016 |
| 315 | 0,35 | 11,55 | 0,0521 | 0,0765 | 0,0546 |
| 315 | 0,65 | 21,45 | 0,0558 | 0,1150 | 0,0675 |
| 315 | 0,85 | 28,10 | 0,0583 | 0,1464 | 0,0691 |
| 315 | 1,05 | 34,65 | 0,0488 | 0,1248 | 0,0645 |
| 315 | 1,20 | 39,10 | 0,0511 | 0,1310 | 0,0630 |
| 620 | 0.20 | 12,97 | 0,0282 | 0,0608 | 0,0346 |
| 620 | 0,35 | 22,70 | 0,0155 | 0,0601 | 0,0296 |
| 620 | 0,45 | 29,20 | 0,0288 | 0,0910 | 0,0372 |
| 620 | 0,55 | 35,65 | 0,0388 | 0,1010 | 0,0576 |
| 620 | 0,65 | 42,20 | 0,0343 | 0,1076 | 0,0691 |
| 60 | 1,47 | 9,24 | 0,0253 | 0,0531 | 0,0543 |
| 108 | 0,82 | 9,26 | 0,0245 | 0,0550 | 0,0486 |
| 150 | 0,59 | 9,26 | 0,0265 | 0,0435 | 0,0362 |
| 210 | 0,43 | 9,25 | 0,0273 | 0,0301 | 0,0270 |
| 300 | 0,29 | 9,20 | 0,0296 | 0,0245 | 0,0233 |

În urma analizei curbelor 1—4 din *figura 2* și a variației curbei randamentului $\eta$, pot fi trase următoarele concluzii :

*1.* În scopul obținerii de produse finite curate, raportul optim $\frac{H_p}{A}$ trebuie să se încadreze între limitele 17,5 și 20, cu toate că în acest interval pierderile de mixte în steril este destul de ridicat (valoarea absolută a lui $\tau$ depășește $\tau_s$).

*2.* Creșterea raportului $\frac{H_p}{A}$ peste valoarea 20, cauzează mărirea efectului de aspirare a claselor mărunte de cărbune (datorită micșorării coeficientului de afînare al patului artificial) în decursul perioadei descendente a ciclului, ceea ce are un efect negativ asupra procesului de preparare.

*Tabela 3*

| $\frac{q \cdot A}{u^2 \varrho_m} \cdot 10^{-3}$ | | | $\frac{u^2}{gA}$ | $\frac{uA\varrho_b}{\mu}$ | Randament | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $\varrho_c$=00140 | $\varrho_s$=0,00223 | $\varrho_b$=0,00162 | | | $\eta_{1,5}$ | $\eta_{1,8}$ |
| 120,0 | 147,8 | 146,0 | 0,022 | 307 | 32,1 | 35,4 |
| 28,6 | 47,2 | 42,0 | 0,104 | 654 | 62,9 | 58,6 |
| 7,1 | 9,5 | 7,5 | 0,324 | 1 160 | 56,8 | 61,1 |
| 2,9 | 3,9 | 3,1 | 0,669 | 1 660 | 37,2 | 45,4 |
| 0,6 | 1,1 | 0,8 | 1,481 | 2 460 | 37,0 | 44,2 |
| 0,3 | 0,5 | 0,5 | 2,350 | 3 120 | 41,7 | 51,8 |
| 0,2 | 0,2 | 0,2 | 3,170 | 3 580 | 46,9 | 50,2 |
| 30,8 | 52,6 | 46,6 | 0,097 | 481 | 61,0 | 66,3 |
| 10,8 | 21,6 | 17,2 | 0,188 | 1 520 | 58,0 | 60,0 |
| 9,1 | 13,0 | 10,4 | 0,241 | 2 880 | 56,4 | 61,9 |
| 7,6 | 9,6 | 7,5 | 0,307 | 4 650 | 56,0 | 66,2 |
| 5,1 | 7,9 | 6,1 | 0,395 | 7 700 | 55,4 | 59,9 |
| 8,4 | 8,0 | 7,6 | 0,387 | 655 | 43,1 | 48,3 |
| 2,6 | 3,4 | 2,7 | 0,721 | 2 260 | 38,9 | 45,5 |
| 1,6 | 2,5 | 1,6 | 0,948 | 3 870 | 43,7 | 52,0 |
| 0,9 | 1,4 | 1,1 | 1,161 | 5 910 | 45,6 | 57,1 |
| 0,7 | 1,1 | 0,8 | 1,330 | 7 700 | 47,9 | 52,8 |
| 1,9 | 2,5 | 1,9 | 0,857 | 421 | 15,2 | 30,8 |
| 0,3 | 0,8 | 0,5 | 1,500 | 1 285 | 20,3 | 54,4 |
| 0,4 | 0,7 | 0,3 | 1,980 | 2 120 | 27,5 | 54,1 |
| 0,3 | 0,5 | 0,5 | 2,350 | 3 180 | 41,7 | 51,8 |
| 0,2 | 0,4 | 0,4 | 2,790 | 4 440 | 39,5 | 53,2 |
| 33,5 | 44,4 | 62,5 | 0,059 | — | 47,2 | 52,9 |
| 18,2 | 25,8 | 30,9 | 0,106 | — | 65,2 | 61,3 |
| 14,1 | 14,4 | 16,6 | 0,147 | — | 61,0 | 57,0 |
| 10,4 | 7,2 | 8,8 | 0,207 | — | 37,0 | 35,8 |
| 7,8 | 4,7 | 5,2 | 0,300 | — | 15,7 | 18,7 |

Ca urmare, creșterea înălțimii patului artificial pentru condiții hidraulice constante, înrăutățește selectivitatea procesului și ca atare și randamentul concentrării.

c) În *figura 3*, prin curbele 1—4 este reprezentată variația $\tau = f\left(\frac{d_p}{A}\right)$ pentru cărbune, steril, mixte și cărbune brut, iar prin $\eta$ randamentul concentrării produsului spălat.

Curba randamentului ne arată că dimensiunea optimă a granulelor patului artificial corespunde valorilor $\frac{d_p}{A} = 2,5—3,0$.

d. Variațiile lui $\tau = f(\theta_i)$ pentru fracțiunile densimetrice sus menționate, precum și $\eta = f(\theta_i)$ pentru cărbune brut *(fig. 4)*, permit o analiză privind influența formei granulelor patului asupra variației capacității specifice și a randamentului de concentrare.

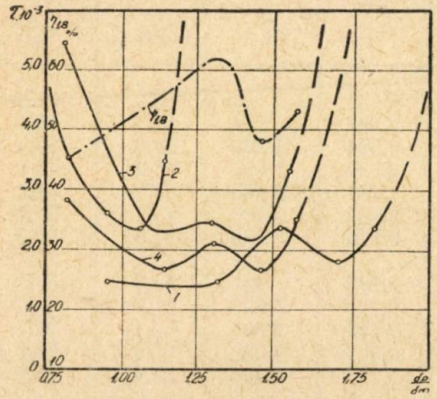


*Fig. 1.* Variația coeficientului $\tau$ și a randamentului de concentrare $\eta_{1,8}$ în funcție de coeficientul $\tau_4$:

1 — cărbune curat; 2 — steril; 3 — mixte; 4 — cărbune brut.

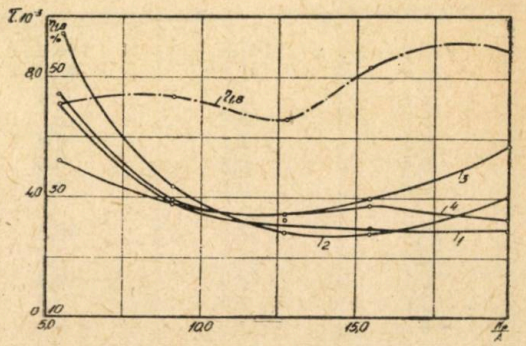


*Fig. 2.* Variația coeficientului $\tau$ și a randamentului de concentrare $\eta_{1,8}$ în funcție de coeficientul $\tau_5$:

1 — cărbune curat; 2 — steril; 3 — mixte; 4 — cărbune brut.

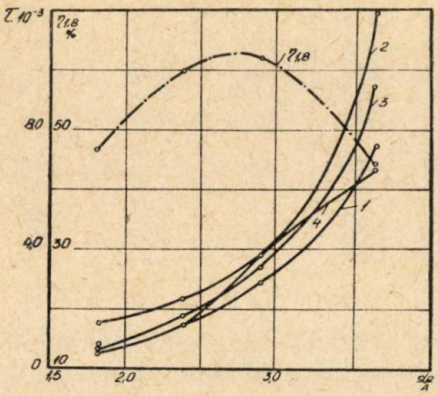


*Fig. 3.* Variația coeficientului $\tau$ și a randamentului de concentrare $\eta_{1,8}$ în funcție de coeficientul $\tau_6$:

1 — cărbune curat; 2 — mixte; 3 — steril; 4 — cărbune brut.

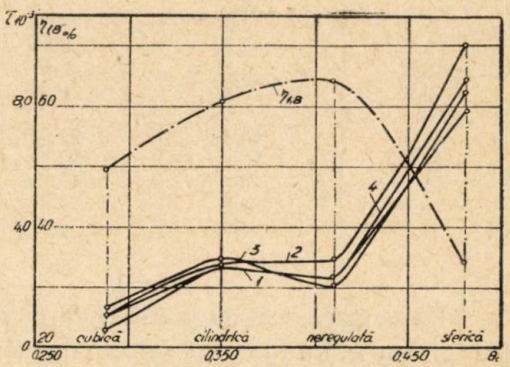



*Fig. 4.* Variația coeficientului $\tau$ și a randamentului de concentrare $\eta_{1,8}$ în funcție de porozitatea inițială a patului $\theta_i$:

1 — cărbune curat; 2 — mixte; 3 steril; 4 — cărbune brut.

Astfel, forma neregulată a granulelor patului asigură condiții favorabile separării sterilului din cărbunele brut, întrucît coeficientul $\tau_s$ depășește cu 20—30% valorile coeficienților $\tau_c$ respectiv $\tau_i$. Folosirea granulelor de

formă cubică pentru compartimentul de steril al maşinii de zeţaj (utilizat în străinătate) după părerea noastră nu este raţională, întrucît pierderile de mixte în steril sînt accentuate ($\tau_i$ pentru mixte depăşeşte cu circa 15% $\tau_s$). Pentru compartimentul de mixte al maşinii, aşa cum rezultă din curbele din *figura 4*, forma optimă a granulelor patului ar fi cea cilindrică, asigurînd randamentul de separare maxim.

B. **Dependenţa lui $\tau$ de coeficienţii $\tau_7$ şi $\tau_8$, care caracterizează parametrii hidraulici de funcţionare ai maşinilor de zeţaj**

Datele experimentale privind variaţia capacităţii specifice q pentru cărbune, steril şi cărbune brut şi a randamentului de concentrare $\eta$ pentru două densităţi de separare 1,5 şi 1,8 g/cm$^3$, obţinute în diferite regimuri hidraulice, sînt trecute în tabela 3. Pe baza acestor date s-au calculat valorile corespunzătoare ale lui $F_r^*$ şi $R_e^*$ (col. 7—11).

a. *Dependenţa lui $\tau$ de* $\frac{1}{\tau_7}$

Pe baza datelor incluse în tabela 3, figura 5, sînt reprezentate variaţiile lui $\tau = \frac{q \cdot A}{u^3 \rho_m} \cdot 10^{-3}$ pentru cărbune curat (curba 1) şi steril (curba 2) — (fără mixte şi cărbune brut) în funcţie de cifra modificată a lui $F_r^* = \frac{u^2}{gA}$, precum şi randamentele de concentrare $\eta$ pentru cele două densităţi de separare amintite mai sus.

Din analiza curbelor (1 şi 2) rezultă că acestea în general reprezintă legitatea trecerii granulelor materialului supus preparării prin canalele intergranulare ale patului artificial, în funcţie de viteza curentului de apă pulsatoriu realizat prin funcţionarea maşinii.

În funcţie de viteza curentului de apă pe curbele $\tau = f(F_r^*)$ pot fi distinse trei zone caracteristice:

**Zona 1** — caracterizată prin viteze reduse ale curentului de apă, corespunde valorilor scăzute ale cifrei $F_r^*$, cînd

$$\tau = \frac{q \cdot A}{u^3 \rho_m} \rightarrow \max. \qquad (12)$$

**Zona 2** — caracterizată prin viteze medii ale curentului de apă, corespunde valorilor medii ale cifrei $F_r^*$, cînd

$$\tau = \frac{qA}{u^3 \rho_m}(F_r^*) \qquad (13)$$

**Zona 3** — caracterizată prin viteze ridicate ale curentului de apă, corespunde valorilor ridicate ale cifrei $F_r^*$, cînd

$$\tau = \frac{q \cdot A}{u^3 \rho_m} = \text{const.} \qquad (14)$$

Corespunzător acestor zone, în funcție de cifra $F_r^*$ pot fi distinse variații analoge și pentru randamentele de concentrare.

In domeniul $F_r^*=0—0,1$ (*zona 1*), randamentul de concentrare crește accentuat pentru toate condițiile încercărilor, atingînd maximum pentru $F_r^*=0,1$.

In zona 2 ($F_r^*=0,1—1,0$), se observă o scădere însemnată la curbele $\eta_{1,5}$, semnalîndu-se în același timp o tranzlație a maximului curbelor $\eta_1$, înspre $F_r^*=0,2—0,3$.

Creșterea vitezei curentului apei, datorită măririi amplitudinii sau frecvenței pulsațiilor ($F_r^* > 1,0$), determină creșterea randamentului de concentrare, maximul atingîndu-se la diferite valori ale lui $F_r^*$. Se observă că, pentru această zonă, îmbunătățirea condițiilor concentrării se realizează mult mai intens prin creșterea amplitudinii pulsațiilor, decît prin varierea frecvenței pulsațiilor apei (curbele $\eta$ pentru n=constant și A-variabil prezintă creșteri accentuate în comparație cu curbele $\eta$ pentru A=constant și n-variabil, *fig. 5*).

Din analiza curbelor, reprezentînd variațiile limită ale randamentelor de concentrare ($\lim \eta_{1,5}$ și $\lim \eta_{1,8}$) și ale lui $\tau$ pentru cărbune și steril în funcție de $F_r^*$ se pot trage următoarele concluzii :

1. Regimul hidraulic de funcționare al mașinilor de zețaj, cu evacuarea produselor grele prin pat artificial, poate fi determinat prin cifra adimensională $F_r^*$, care caracterizează atît capacitatea specifică cît și randamentul de concentrare.

2. Condițiile optime de funcționare ale mașinilor se asigură pentru domeniul lui Froude 0,1—0,3, mai precis $F_r^*=0,20$ pentru compartimentul de steril, iar pentru compartimentul de mixte, $F_r^*=0,10$.

Exprimînd viteza curentului u din expresia cifrei $F_r^*$, ca fiind egală cu $\frac{\pi n}{30} A$, relația ce poate fi utilizată drept criteriu de bază în condiții practice de exploatare a mașinilor de zețaj va avea forma :

$$F_r^* = 1,1 \cdot 10^{-5} n^2 A. \qquad (15)$$

3. Debitul specific de evacuare a patului artificial pe baza curbelor 1 și 2, $\tau=f(F_r^*)$ poate fi determinat cu ușurință pentru zonele ce prezintă importanță pentru zețaj, cu ajutorul relațiilor următoare.

*1. Pentru domeniul* $0,10 < F_r^* < 1,0$

$$q=36C \frac{u^3 \rho_m}{A} \left(\frac{1}{F_r^*}\right)^m ; \quad \left[\frac{t}{m^2 h}\right] \qquad (17)$$

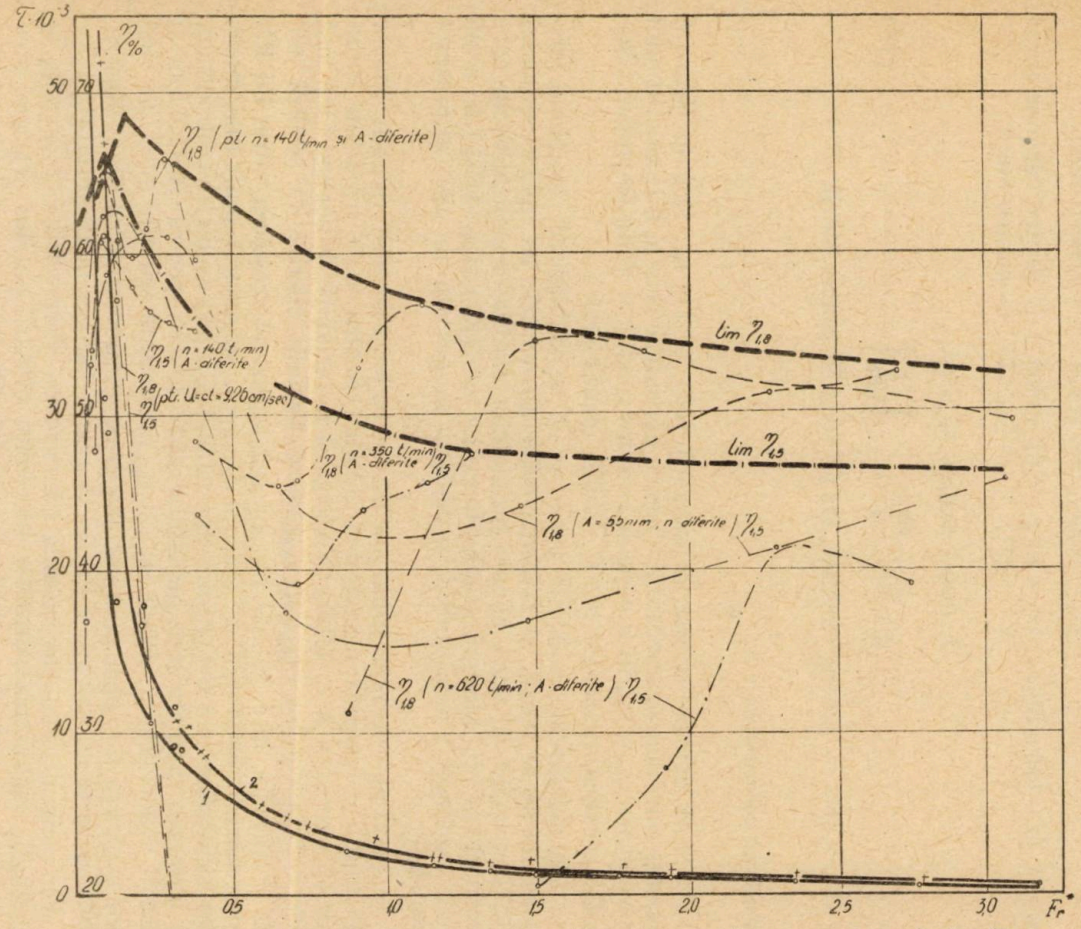



*Fig. 5.* Variaţia coeficientului $\tau$ şi a randamentelor de concentrare $\eta_{1,5}$ şi $\eta_{1,8}$ în funcţie de cifra lui Froude (Fr*):
1 — cărbune curat; 2 — steril.

unde coeficientul C şi exponentul m au valori variabile în funcţie de densitatea materialului din alimentare, astfel :

— *pentru* $F_r^* = 0{,}1—0{,}2$ : $C' = 1{,}9$ ; $m' = 0{,}8$ — pentru cărbune curat
$C'' = 0{,}825$ ; $m'' = 1{,}8$ — pentru steril

— *pentru* $F_r^* = 0{,}2—1{,}0$ : $C' = 1{,}9$ ; $m' = 1{,}0$ — pentru cărbune curat
$C'' = 2{,}0$ ; $m'' = 1{,}45$ — pentru steril

*2. Pentru domeniul* $F_r^* > 1{,}0$

$$q = 36C \frac{u^3 \rho_m}{A} ; \quad \left[\frac{t}{m^2 h}\right] \tag{18}$$

unde $C' = 0{,}566$ — pentru cărbune, iar $C'' = 0{,}875$ pentru steril.

b. *Dependenţa coeficientului* $\tau$ *de* $\frac{1}{\tau_8}$

Pe baza datelor incluse în tabela 3 (col. 9, 11, 12, 13), în *figura 6* se prezintă variaţia coeficientului $\tau$ pentru cărbunele brut şi a randamentului de concentrare $\eta_{1,5}$ şi $\eta_{1,8}$ în funcţie de criteriul modificat al lui Reynolds (Re).

Din graficul prezentat pot fi stabilite următoarele :

Dacă dependenţa $\tau = f(F_r^*)$ a permis să se stabilească caracterul mişcării apei şi să se scoată în evidenţă influenţa acceleraţiei apei în decursul unui ciclu complet de zeţaj, asupra rezultatelor cantitative-calitative ale concentrării cărbunelui mărunt, studiul funcţiilor $\tau = f(R_e^*)$ şi $\eta = f(R_e^*)$ ne arată influenţa separată a amplitudinii şi numărul de pulsaţii ale apei în procesul concentrării.

In general, creşterea cifrei lui $R_e^*$, se reflectă în mod negativ asupra coeficientului $\tau$, cauzînd micşorarea acestuia pentru toate condiţiile încercărilor (n=const şi A-variabil ; A=const şi n-variabil); în acelaşi timp însă curbele randamentului ($\eta_{1,5}$ şi $\eta_{1,8}$) arată variaţii diferite. O analiză mai atentă a curbelor însă, scoate în evidenţă faptul că creşterea cifrei lui $R_e^*$, datorită măririi numărului de pulsaţii ale apei, se reflectă mult mai intens asupra variaţiilor lui $\tau$ şi $\eta_i$, deci asupra stabilităţii procesului de concentrare, decît creşterea amplitudinii pulsaţiilor apei (curba pentru A=5,5 mm şi n-variabil scade brusc, curbele $\eta_{1,5}$ şi $\eta_{1,8}$ prezentînd variaţii mari, pe cînd curbele $\eta_i$ pentru n=const şi A-variabil cresc continuu, iar ca apoi, după ce depăşesc o oarecare valoare a lui Re să aibă o variaţie neînsemnată).

Din cele de mai sus rezultă că reglarea parametrilor hidraulici ai maşinilor de zeţaj, corespunzător necesităţii afînării patului artificial şi a celui natural, trebuie să se realizeze exclusiv prin varierea corespunzătoare a amplitudinii pulsaţiilor apei. Pe de altă parte, compararea valorilor absolute ale randamentului de concentrare ne arată că, în cazul preparării cărbunelui mărunt prin zeţaj, numărul pulsaţiilor nu va trebui să depăşească

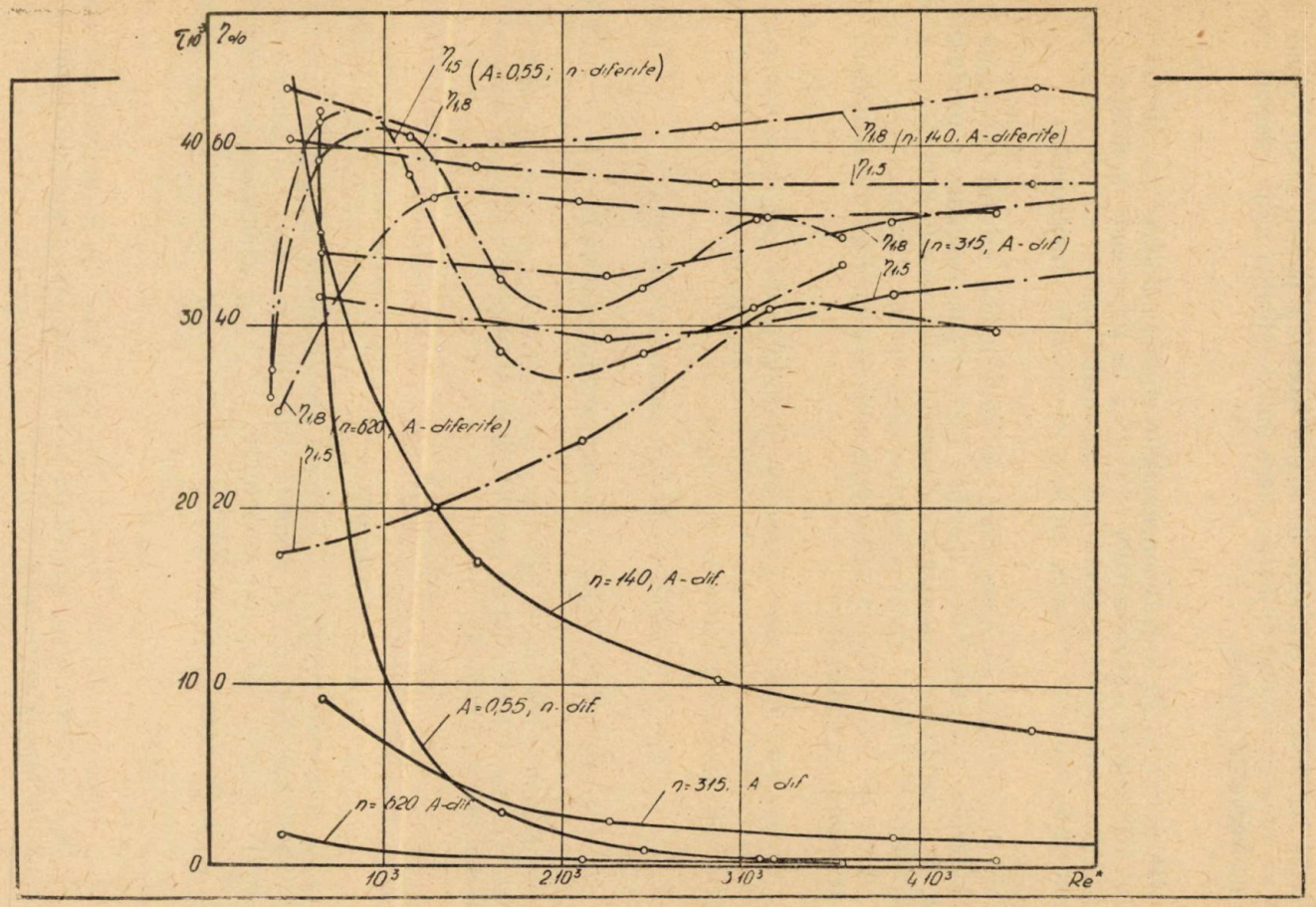



*Fig. 6.* Variaţia coeficientului $\tau$ pentru cărbune brut şi a randamentelor de concentrare $\eta_{1,5}$ şi $\eta_{1,8}$ în funcţie de cifra lui Reynolds (Re*).

150 t/min, iar folosirea zețajului de înaltă frecvență pentru orice valoare a lui A va avea ca rezultat obținerea unor indici calitativi mult inferiori zețajului de frecvență scăzută.

**III.** Aplicarea analizei dimensionale în studiul influenței caracteristicilor patului artificial și a parametrilor hidraulici de funcționare a mașinilor de zețaj, asupra rezultatelor concentrării cărbunelui mărunt cu evacuarea produselor grele prin pat artificial, au scos în evidență următoarele:

1. Proprietățile fizico-mecanice ale materialului patului determină în mod hotărîtor atît capacitatea specifică (debitul) de evacuare a produselor grele, cît și randamentul separării cărbunelui brut, permițînd totodată să se tragă concluzii privind alegerea parametrilor optimi ai patului.

Astfel, pe baza celor stabilite prin aplicarea analizei dimensionale, se pot recomanda următoarele:

— Greutatea specifică a granulelor patului pentru cele două compartimente ale mașinii de zețaj poate fi stabilită în funcție de greutatea specifică medie a cărbunelui concentrat $\delta_c$ cu relațiile:

$$\delta'_p = (1{,}1 — 1{,}3)\delta_c \quad \text{— pentru separarea sterilului} \tag{19}$$

și

$$\delta''_p = (1{,}6 — 1{,}7)\delta_c \quad \text{— pentru separarea mixtelor} \tag{20}$$

— Dimensiunea medie optimă a granulelor $d_{p'}$, precum și înălțimea patului $H_p$ este determinată de amplitudinea pulsațiilor apei A, și orientativ pot fi stabilite cu expresiile:

$$d_p = (2{,}5 — 3{,}0)A \tag{21}$$

iar

$$H_p = (17{,}5 — 20)A \tag{22}$$

Este de remarcat faptul că reglarea procesului de zețaj, prin varierea amplitudinii pulsației apei A, datorită variațiilor de debit sau compoziției fracționare a materialului din alimentare, va cauza schimbarea raportului optim $\frac{d_p}{A}$ și $\frac{H_p}{A}$, ceea ce se va reflecta negativ asupra rezultatelor calitative ale concentrării.

2. Criteriile modificate ale lui Reynolds ($R_e^*$) și în special ale lui Froude ($F_r^*$) pot servi drept criterii de bază la alegerea regimului optim de funcționare a mașinilor de zețaj.

Dacă cifra $R_e^*$ ce caracterizează raportul forțelor de rezistență (de inerție și cele de frecare) ce iau naștere între granulele materialului și apa pulsatorie are o importanță mai puțin determinantă în cadrul procesului de zețaj, cifra modificată a lui Froude ($F_r^*$), exprimînd raportul dintre forțele de inerție și cele gravitaționale ale curentului de apă în decursul unui ciclu complet de zețaj, poate caracteriza integral procesul.

Valoarea numerică a acestui coeficient determină caracterul curgerii curentului pulsatoriu-lent respectiv rapid. Astfel regimul de mișcare poate fi lent sau rapid, după cum $\frac{u^2}{Ag}$ are o valoare mai mică sau mai mare decît unitatea, considerîndu-se regimul critic de zețaj pentru $\frac{u^2}{Ag} = 1{,}0$.

Astfel, $F_r^* > 1$ este caracteristic regimului rapid de curgere a apei, care se realizează prin creșterea frecvenței pulsațiilor n și se caracterizează prin creșterea accentuată a forțelor de inerție în raport cu forțele gravitaționale. Cu alte cuvinte, în acest domeniu al curgerii apei are loc zețajul de frecvență înaltă care, datorită diminuării influenței forțelor gravitaționale care sînt determinante în acest proces, se va realiza în toate cazurile cu indici calitativo-cantitativi inferiori zețajului de frecvență scăzută.

Regimurile hidraulice de zețaj, caracterizate prin $F_r^* < 1$, se pot obține prin micșorarea numărului de pulsații și prin creșterea amplitudinii mișcării apei, ceea ce va avea ca urmare creșterea forțelor gravitaționale și micșorarea forței de inerție ale apei. Acest domeniu de mișcare a apei este favorabil condițiilor de concentrare, fapt confirmat de rezultatele practice înregistrate.

Rezultatele obținute prin aplicarea metodei teoriei dimensionale scot în relief importanța acestei metode, în studiul unor fenomene ca cel al zețajului, permițînd, pentru prima oară, o clasificare a acestui proces în funcție de cifra modificată a lui Froude. Pe de altă parte, interpretarea criteriilor $R_e^*$ și $F_r^*$ pentru fenomenul zețajului a permis să tragem o serie de concluzii privitoare la forțele determinante care intervin în separarea granulelor pe baza greutății specifice.

Este important să subliniem că metodologia aplicată unui fenomen particular ca cel al zețajului este susceptibilă a se aplica și altor fenomene întîlnite în cadrul proceselor gravitaționale de preparare, metoda constituind un fundament matematic operativ și eficace.

BIBLIOGRAFIE

1. Batuner, L. M. (1960): *Matematiceskie metodî o himiceskoi tehnike.* Goshimizdat, Leningrad.
2. Kizevalter, B. V. (1957): Razrîhlenie sloia ceastiț v proțese otsadki. Obogașcenia rud. *Gornîi jurnal, 3.*
3. Mayer, F. W.: Fundamentals of a Potențial Theory of the Jigging Procese — *VII International Mineral processing Congress* — New York — 10011.
4. Rafales-Lamark, E. E. (1953): S gidrodinamiceskim osnovam teorii obogașcenia v pulsiruiușcem potoke. *Gornîi jurnal, 10.*

*Manuscris primit în mai, 1967*

# ACȚIUNEA OLEATULUI DE SODIU ASUPRA UNOR MINERALE ALE METALELOR RARE *

P. ILIE
Centrul de cercetări pentru minereuri neferoase, Baia Mare

Studiul acțiunii oleatului de sodiu la diferite valori a arătat că el este colector eficace pentru piroclor și zircon la pH=7—11.

Determinările radiometrice au arătat că la consumuri ce asigură flotația se fixează pe minerale mai multe strate de adsorbție monomoleculară a oleatului de sodiu. La diferite valori pH flotația nu este direct proporțională cu cantitatea de reactiv colector fixată ci depinde de acțiunea reactivilor regulatori cu suprafața mineralelor. Spectrele în infraroșu au arătat că acționînd cu centrii activi de reacție ai mineralelor, oleatul de sodiu se adsoarbe sub formă de ioni și molecule, iar în condiții favorabile chemosorbția este însoțită de reacția chimică eterogenă ce conduce la formarea de oleați ai metalelor.

Mecanismul acțiunii acidului oleic cu unele minerale a fost studiat de diferiți cercetători. Gaudin consideră acțiunea acidului oleic cu diferiți carbonați ca reacție chimică între colector și suprafața mineralelor. Tagart consideră că acțiunea oleatului de sodiu cu calcitul și apatitul reprezintă o reacție chimică de schimb [1]. Rebinder a stabilit ireversibilitatea fixării stratului de adsorbție monomolecular al acidului carboxilic ca rezultat al fixării chimice a grupelor polare la suprafața mineralelor [2]. Eigeles consideră că la suprafața multor minerale nesulfuri oleatul de sodiu se fixează reversibil și ireversibil. Sorbția reversibilă decurge cu o viteză mare și conduce la formarea de strate de adsorbție polimoleculare care parțial pot fi înlăturate de apă, iar sorbția ireversibilă este un proces lent ce conduce la formarea unui strat de adsorbție monomolecular [3].

Polkin a studiat pentru prima dată compoziția chimică a săpunurilor metalice ce se formează în condiții apropiate de cele ce au loc în tulbureala

---

* Lucrarea a fost executată sub conducerea prof. dr. în științe tehnice S. I. Polkin de la Inst. de Oțeluri și Aliaje, Moscova.

de flotaţie [4]. El a arătat că în tulburelile de flotaţie, în urma acţiunii oleatului de sodiu cu săruri, hidraţi, ioni ai metalelor, se formează săpunuri metalice, alcaline, ce conţin săruri greu solubile, apă, acid oleic liber.

Spre deosebire de alţi cercetători ce susţin ireversibilitatea fixării colectorului numai în strat de adsorbţie monomolecular, el demonstrează fixarea ireversibilă a stratelor de adsorbţie polimoleculare, şi arată că adsorbţia acidului oleic în strate de adsorbţie polimoleculare are caracter hidrofob şi favorizează flotarea mineralelor ca : hematit, calcit, casiterit ş. a.

Formarea stratelor de adsorbţie polimoleculare este posibilă atunci cînd în prealabil a avut loc acţiunea chimică a acidului oleic cu suprafaţa mineralului, acţiune ce este necesară pentru asigurarea fixării primului strat de adsorbţie şi a celorlalte strate prin intermediul primului.

În cercetări mai recente, în care pe lîngă structura reactivului colector se ţine seama şi de structura mineralelor, se arată că în urma distrugerii reţelei cristaline la suprafaţa mineralelor — oxizi şi silicaţi — se formează legături valente remanente nesaturate, care acţionînd cu mediul înconjurător (apă, aer) formează hidroxili Me-OH sau Si-OH cu caracter acid, amfoter sau bazic [5]. Hidroxilii cu caracter acid donează uşor hidrogenul, legîndu-se cu un alt cation, iar cei cu caracter bazic vor dona grupa OH.

Reactivii colectori anionici pot acţiona numai cu hidroxilii de tip bazic iar cei cationici numai cu hidroxilii acizi. La flotaţia cu colectori anionici a mineralelor ce formează hidroxili acizi este necesară activarea cu ioni ai metalelor polivalente, care în prezenţa oxigenului neutralizează hidroxilii acizi formînd hidroxili bazici, astfel fiind posibilă acţiunea reactivului colector şi flotarea mineralului.

După un astfel de mecanism are loc activarea cuarţului şi a altor minerale.

$$\begin{matrix}\equiv| \\ \mathrm{Si}\text{—OH} \\ \equiv|\end{matrix} + \mathrm{Me} + \mathrm{O}^{-2} \rightarrow \begin{matrix}\equiv| \\ \mathrm{Si}\text{—OMe—OH} \\ \equiv|\end{matrix}$$

Cele de mai sus arată că în fiecare caz concret acţiunea reactivului colector este condiţionată de formarea centrilor activi de adsorbţie la suprafaţa mineralelor

Datorită neomogenităţii repartiţiei centrilor activi de adsorbţie pe suprafaţa mineralelor, repartizarea reactivului colector are un caracter neuniform, în pete, ceea ce permite ca chiar atunci cînd cantitatea de reactiv asigură formarea unui strat de adsorbţie monomolecular să se formeze mai multe strate. Fixarea reactivului colector în mai multe strate a fost demonstrată şi în cazul flotaţiei mineralelor cu reactivi sulfhidrilici [6], [7].

Studiul acţiunii oleatului de sodiu cu piroclorul, zirconul, ilmenorutilul a arătat că flotabilitatea mineralelor nu este echivalentă cu cantitatea de reactiv colector fixată, dar ea creşte odată cu creşterea cantităţii de reactiv ce se fixează [8]. Cu ajutorul spectrofotometriei în infraroşu s-a stabilit că oleatul de sodiu se adsoarbe pe columbit sub formă de ioni şi molecule.

Parțial oleatul de sodiu acționează chimic cu columbitul prin intermediul hidroxizilor Fe și Mn, ionii de Ta și Nb neputînd forma oleați deoarece rămîn la suprafața mineralului sub formă de oxizi [9].

Din tratarea hidroxizilor, sulfaților, Ta și Nb, precum și a pulberilor metalice de Ta, Nb, cu oleat de sodiu, nu a rezultat precipitat care să caracterizeze formarea săpunurilor metalice ale Nb și Ta, ceea ce a condus la concluzia că ionii Ta și Nb, prezenți în mineralele tantaloniobați, nu au nici un rol în acțiunea oleatului de sodiu cu mineralele [10].

În cadrul prezentei lucrări, folosind analiza radiometrică și spectrofotometrică în infraroșu, s-a studiat mecanismul de acționare a oleatului de sodiu cu piroclorul, zirconul și monazita.

## A. ANALIZA RADIOMETRICĂ A ACȚIUNII OLEATULUI DE SODIU

În cercetarea acțiunii reactivilor de flotație cu mineralele, problema principală o constituie studierea straturilor superficiale ce se formează pe mineral datorită acțiunii cu reactivul.

Metodele cantitative analitice, folosite pentru determinări, nu dau rezultate mulțumitoare datorită concentrațiilor reduse ale reactivilor. Folosirea reactivilor marcați cu izotopi radioactivi permite să se determine cu mare precizie cantitatea de reactiv adsorbită pe suprafața mineralelor.

Pentru determinarea radiometrică a cantității de reactiv ce se adsoarbe pe mineral se folosește : determinarea pe baza diferenței concentrației soluțiilor inițiale și finale, determinarea activității mineralului și executarea flotației cu reactivi marcați. Cele mai precise rezultate se obțin prin determinarea activității mineralului sau prin flotație cu reactivi marcați.

Prin determinarea activității mineralelor s-a studiat influența pH-ului ($H_2SO_4$, NaOH) și a consumului de oleat de sodiu marcat cu $C^{14}$ asupra adsorbției lui pe piroclor, zircon și monazită [11].

Mineralele cu granulația — 0,25+0,044 mm s-au agitat cu diferite cantități de oleat de sodiu, timp de 10 minute, la raport S : L = 1 : 15. După agitare soluția s-a înlăturat prin decantare și s-au făcut trei spălări pentru a înlătura reactivul ce ar putea fi reținut mecanic. Spălările s-au făcut cu soluții apoase de aceeași valoare pH, pentru a nu schimba starea moleculară sau ionică a reactivului.

După spălare mineralul s-a trecut în filtru Schott unde s-a spălat încă de două ori cu soluție apoasă de aceeași valoare pH. Apoi mineralul s-a uscat în aer și după trecerea într-un pahar de sticlă s-a determinat activitatea.

După cum rezultă din *figura 1*, odată cu creșterea consumului se mărește și cantitatea de oleat de sodiu marcat ce se fixează pe minerale. Calculul

* Cantitatea de oleat de sodiu necesară pentru formarea unui strat convențional de adsorbție monomolecular la suprafața mineralelor studiate este : pircolor 54,2 ; zircon 48,6 ; monazită 37,0 g/t.

stratelor convenționale de adsorbție * ne arată că numai la consumul de 375 g/t oleat de sodiu pe minerale se fixează sub un strat de adsorbție monomolecular, iar la consumuri mai mari se fixează mai multe strate de adsorbție monomoleculare.

La diferite consumuri oleatul de sodiu se fixează pe: piroclor 0,41; 1,10; 1,72; 2,40; zircon 0,86; 2,58; 1,54; 3,50; monazită 0,81; 2,07; 3,50; 3,35 strate de adsorbție monomoleculare.

Compararea datelor privind adsorbția cu datele obținute la flotarea mineralelor cu diferite consumuri de oleat de sodiu prezentate în *figura 2*

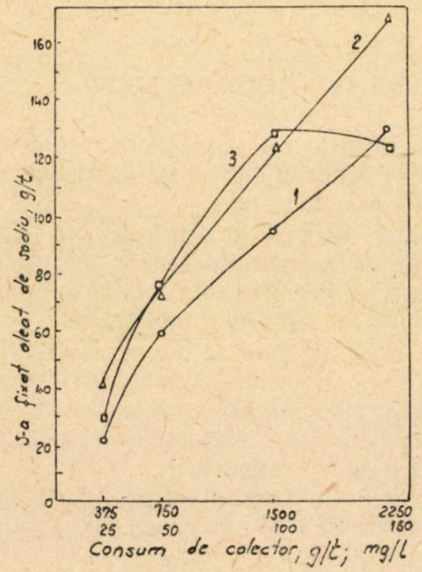



*Fig. 1.* Influența consumului asupra fixării oleatului de sodiu marcat:
1 — piroclor; 2 — zircon; 3 — monazită.

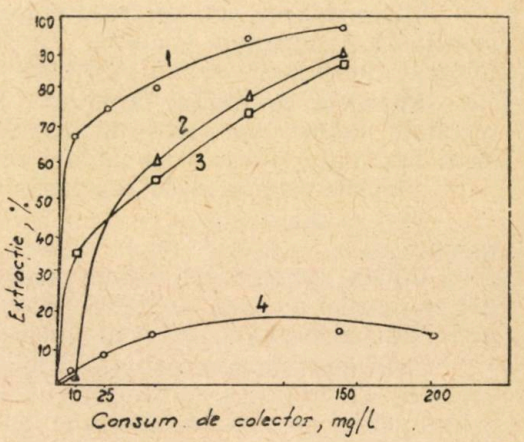



*Fig. 2.* Influența consumului asupra flotației mineralelor cu oleat de sodiu:
1 — piroclor; 2 — zircon; 3 — monazită; 4 — microclin.

ne arată că odată cu mărirea consumului de reactiv crește atît cantitatea de reactiv fixată cît și extracția mineralelor.

Datele privind adsorbția oleatului de sodiu în funcție de pH ($H_2SO_4$, NaOH) prezentate în *figura 3*, ne arată că odată cu creșterea pH-ului se mărește și cantitatea de reactiv colector ce se fixează pe minerale, maximum de fixare fiind în mediul neutru. Minimum de fixare este în mediul acid, iar în mediul alcalin pentru piroclor și zircon se constată o reducere a cantității de reactiv fixat. La diferite valori ale pH-ului din consumul inițial de 2 250 g/t se fixează 3—14% oleat de sodiu, respectiv în strate convenționale de adsorbție monomoleculară pe: piroclor 1,16; 1,42; 2,40; 2,37; 1,66; zircon 1,48;

2,57 ; 3,50 ; 5,70 ; 3,70 ; monazită 1,76 ; 2,95 ; 3,35 ; 8,50 ; 8,40 ; strate de adsorbție monomoleculară.

Compararea determinărilor radiometrice ale adsorbției oleatului de sodiu cu datele de flotație la diferite valori pH prezentate în *figura 4* ne arată că flotabilitatea mineralelor nu este echivalentă cu cantitatea de reactiv colector fixată și depinde atît în mediul acid cît și în mediul alcalin de acțiunea reactivului regulator asupra suprafeței mineralelor, de compoziția chimică și rețeaua cristalină a mineralelor.

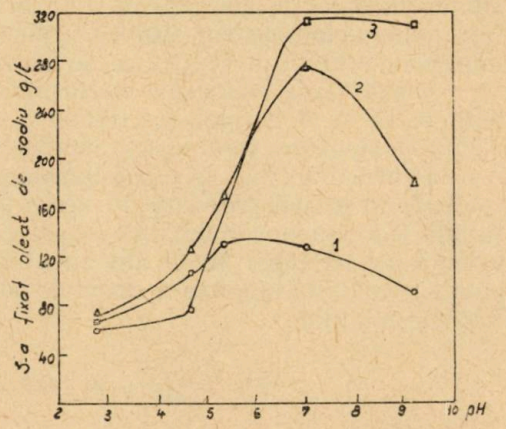



*Fig. 3.* Influența pH-ului asupra fixării oleatului de sodiu marcat, consum 2 250 g/t : 1 — piroclor; 2 — zircon; 3 — monazită.

Astfel în mediul acid la pH=4,6, cantitatea de oleat de sodiu fixată pe piroclor este mai redusă decît pe zircon și monazită, însă piroclorul se extrage peste 70% iar monazita și zirconul se extrag numai 10—20%.

În mediul alcalin se constată fenomenul invers : monazita se extrage peste 90% iar extracția piroclorului și zirconului este foarte redusă, cu toate că la suprafața lor se fixează peste un strat de adsorbție monomolecular de oleat de sodiu.

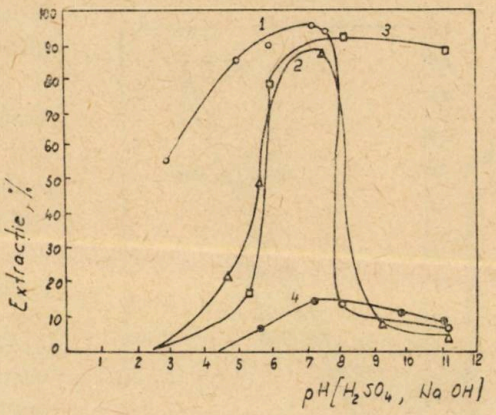



*Fig. 4.* Influența pH-ului asupra flotației mineralelor cu oleat de sodiu, consum 2 250 g/t : 1 — piroclor; 2 — zircon; 3 — monazită; 4 — microclin.

Din cele de mai sus rezultă că în mediul neutru flotația este condiționată de cantitatea de reactiv colector fixată pe minerale iar în mediu acid și în mediu alcalin flotația mineralelor nu depinde de cantitatea de reactiv fixată, ci este condiționată de acțiunea reactivilor regulatori de pH ($H_2SO_4$, NaOH) cu suprafața mineralelor. Metodele radiometrice nu pot să ne furnizeze date calitative cu privire la acțiunea reactivilor cu suprafața mineralelor.

În acest scop s-a folosit spectrofotometria în infraroșu.

## B. ANALIZA SPECTROFOTOMETRICĂ IN INFRAROȘU A ACȚIUNII OLEATULUI DE SODIU

Deoarece flotabilitatea mineralelor este determinată nu numai de densitatea stratului de adsorbție ci și de caracterul acțiunii colectorului cu suprafața mineralelor, pentru studiul acțiunii reactivilor este insuficientă determinarea cantității de reactiv ce se fixează.

Combinarea metodelor radiometrice cu spectrofotometria în infraroșu permite să se determine nu numai cantitatea de reactiv fixată ci și compoziția și structura compușilor superficiali.

Pentru folosirea spectrofotometriei în infraroșu este necesar ca mineralul să nu posede frecvențe în aceea bandă de adsorbție a spectrului unde se află frecvențele carcteristice reactivilor. Avînd în vedere că vibrațiilor de valență ale legăturii Me-O din structura superficială a cristalelor le corespunde o anumită lungime a undei de adsorbție a razelor infraroșii [5], [12] folosind relațiile:

$$\lambda = \frac{d+1{,}64}{0{,}359}\ \mu \quad \text{sau} \quad \vartheta = \frac{3\,590}{d+1{,}64}\ \text{cm}^{-1}$$

după valoarea distanței interatomice d, Å a legăturii Me-O [13] s-au calculat numerele de undă și s-a construit relația grafică dintre numerele de undă corespunzătoare frecvențelor de adsorbție ale legăturilor Me-O și distanța interatomică, ținînd seama de ionii prezenți în mineralele cercetate.

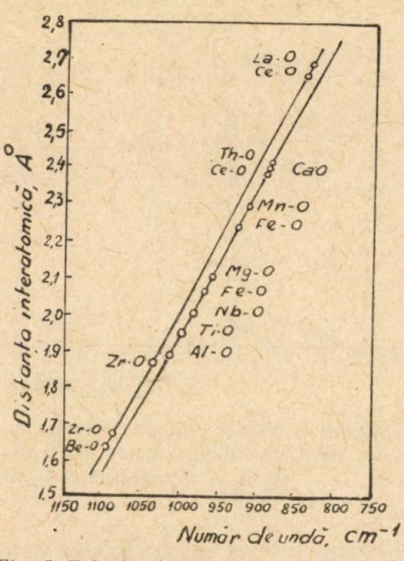



*Fig. 5.* Relația dintre numerele de undă corespunzătoare frecvențelor de absorbție ale legăturii Me-O și distanța interatomică în Å.

După cum rezultă din *figura 5,* vibrațiilor de valență ale legăturilor Me-O din monazită, piroclor, zircon le corespunde banda de adsorbție 830—1 080 $cm^{-1}$.

Deoarece acizii carboxilici nu posedă frecvențe în limitele acestei benzi de adsorbție, se poate folosi spectrofotometria în infraroșu pentru a determina caracterul fixării oleatului de sodiu la suprafața mineralelor studiate.

Spectrele s-au înregistrat în intervalul de undă de 2—14 microni, la un spectrofotometru cu un fascicul IKS-12 prevăzut cu prizmă din NaCl. Pentru experiențe s-au folosit pulberi ale mineralelor cu dimensiunea sub 5 microni, obținute prin măcinare în mojar de agat și

sedimentare în apă distilată. Pulberile mineralelor tratate și netratate cu reactivi s-au depus din suspensia de lucru pe plăcuțe din fluorină. Densitatea filmului depunerii în toate experiențele a fost de 1,9—2,0 mg/cm$^2$.

Pentru înregistrarea spectrului s-a luat Po — intensitatea de transmisie a razelor infraroșii prin pulberile netratate cu reactivi, iar P — intensitatea de transmisie prin pulberile tratate. Mineralele s-au tratat timp de 5 minute cu oleat de sodiu, consum 150 mg/l—2 250 g/t, la raport: S : L = 1 : 15 și pH = 3,8 ; 7,0 ; 8,8 ($H_2SO_4$ ; NaOH).

După îndepărtarea fazei lichide prin centrifugare și spălarea de trei ori cu soluție apoasă de aceeași valoare pH pentru a înlătura reactivul colector ce ar putea fi reținut mecanic, mineralele s-au trecut în creuzetul de depunere prevăzut cu plăcuță de fluorină. După depunere timp de 24 ore, plăcuța de fluorină s-a uscat în exicator în prezența clorurii de calciu și apoi s-a înregistrat spectrul.

În spectrele piroclorului prezentate în *figura 6,* la toate valorile pH lipsesc frecvențe caracteristice legăturilor Nb-O și Ta-O, ceea ce arată că datorită insolubilității niobiul și tantalul sînt prezenți la suprafața minereului sub formă de oxizi și nu pot acționa cu reactivii de flotație, fapt, ce se confirmă și în alte cercetări cu tantaloniobați [14].

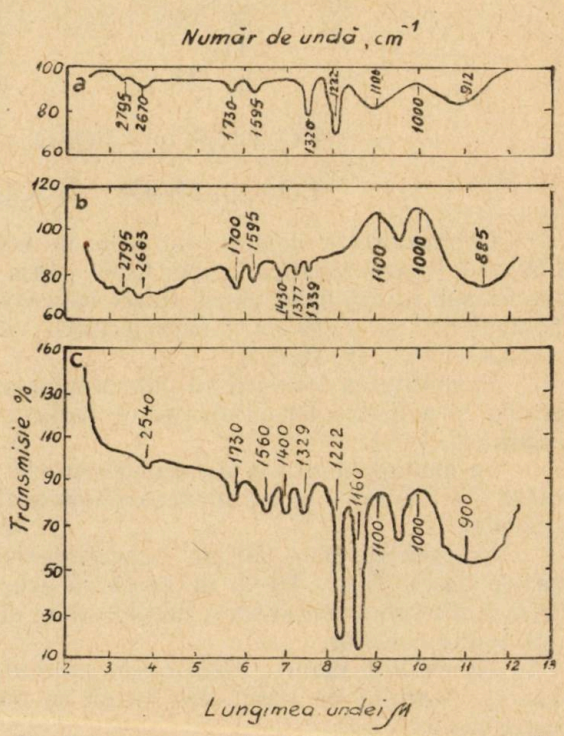
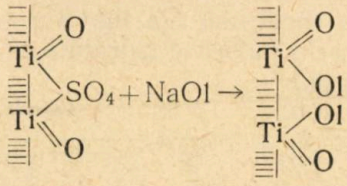



*Fig. 6.* Spectrele piroclorului tratat cu oleat de sodiu la diferite valori pH :
a — tratat la pH=3,8; b — tratat la pH=7,0; c — tratat la pH=8,8.

Transmisia mai intensă în banda de adsorbție cu lungimea de 10—11 microni este caracteristică vibrațiilor de valență ale legăturilor Ca-O, Ti-O, Fe-O, Mn-O, Th-O, TR-O. Este evident că acești atomi sînt cei mai activi în rețeaua cristalină a piroclorului și pot fi considerați ca centri activi de reacție cu reactivii.

În mediul acid, *figura 6-a,* frecvențele 880—930 cm$^{-1}$ și frecvența 1 100 cm$^{-1}$ caracteristică grupelor $SO_4^{-2}$ indică formarea sulfaților slab solubili de Ca, Fe.

Transmisia mai intensă la 1 000 $cm^{-1}$ caracteristică vibrațiilor de valență ale legăturilor Ti-O, indică acțiunea oleatului de sodiu (NaOl) cu titanilsulfatul după reacția superficială :



$$TiO_2 + H_2SO_4 \rightarrow TiOSO_4 + H_2O$$

$$TiOSO_4 + 2NaOl \rightarrow TiOOl_2 + Na_2SO_4$$

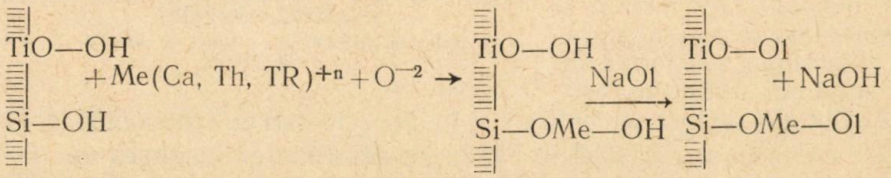
Chemosorbția oleatului de sodiu ne este indicată de frecvențele 1 320, 1 595 $cm^{-1}$ caracteristice grupei $COO^-$, însă reactivul colector se fixează în special sub formă moleculară, fixare indicată de prezența frecvențelor 1 222, 1 730, 2 670 și 2 795 $cm^{-1}$ caracteristice vibrațiilor de valență ale grupei — COOH (17, 18, 19, 20).

Posibilitatea formării titanilsulfaților la suprafața altor titano-niobați precum și acțiunea lor cu oleatul de sodiu a fost demonstrată și în alte cercetări [4], [15].

În mediul neutru și alcalin transmisia maximă a razelor infraroșii la 1 000 și 1 100 $cm^{-1}$ indică formarea hidroxililor bazici ai titanului și acizi ai siliciului.

Frecvențele 860—930 $cm^{-1}$ caracteristice vibrațiilor de valență ale legăturilor Ca-O, Th-O, TR-O, ne arată că acești ioni pot neutraliza hidroxilii acizi ai siliciului, creînd surse suplimentare de centri de reacție pentru fixarea reactivului colector.

În mediul neutru, *figura 6-b,* prezența frecvenței 1 430 $cm^{-1}$ indică fixarea oleatului de sodiu sub formă de oleați ai metalelor, după reacția superficială :



În afară de fixarea sub formă de oleați ai metalelor, frecvențele 1 339, 1 377, 1 595 $cm^{-1}$ indică fixarea sub formă ionică iar frecvențele 1 700, 2 663, 2 795 $cm^{-1}$ indică fixarea sub formă moleculară a oleatului de sodiu.

În mediul alcalin, *figura 6-c,* frecvențele 1 329, 1 400, 1 560 $cm^{-1}$ indică fixarea sub formă ionică iar frecvențele 1 160, 1 222, 1 730, 2 540 $cm^{-1}$ indică fixarea sub formă moleculară a oleatului de sodiu. Lipsa frecvenței 1 430 $cm^{-1}$

ne arată că chemosorbția colectorului nu este însoțită de formarea oleaților metalelor.

Compararea datelor radiometrice cu spectrele în infraroșu ne arată că în mediul alcalin, la suprafața piroclorului, se fixează cantitatea suficientă de colector, însă flotația nu are loc. În mediul acid, cu toate că se fixează mai puțin oleat de sodiu decît în mediul alcalin, totuși piroclorul flotează. Mediul optim pentru flotarea piroclorului este cel neutru. Neflotabilitatea piroclorului în mediul alcalin se datorește fixării concomitente a oleatului de sodiu și a ionilor de hidroxil ce conduce la hidrofilizarea suprafeței mineralului.

În spectrele zirconului, prezentate în *figura 7,* frecvențele 1 030 și 1 080 $cm^{-1}$ ne arată că ionii Zr determină flotația mineralului. Legătura Zr-O are două valori ale distanței interatomice, 1,67 și 1,87 Å [13], [16] cărora le corespunde frecvența 1 030 și 1 080 $cm^{-1}$.

În acest interval se află și frecvențele caracteristice silicaților [17]. Ionii siliciului formează hidroxili acizi iar zirconiul avînd proprietăți amfotere formează hidroxili acizi și bazici. Prezența în spectre a frecvențelor în banda de absorbție cu lungimea 10—12 microni indică formarea hidroxililor bazici iar frecvența în banda de adsorbție cu lungimea de trei microni indică formarea hidroxililor acizi [5].

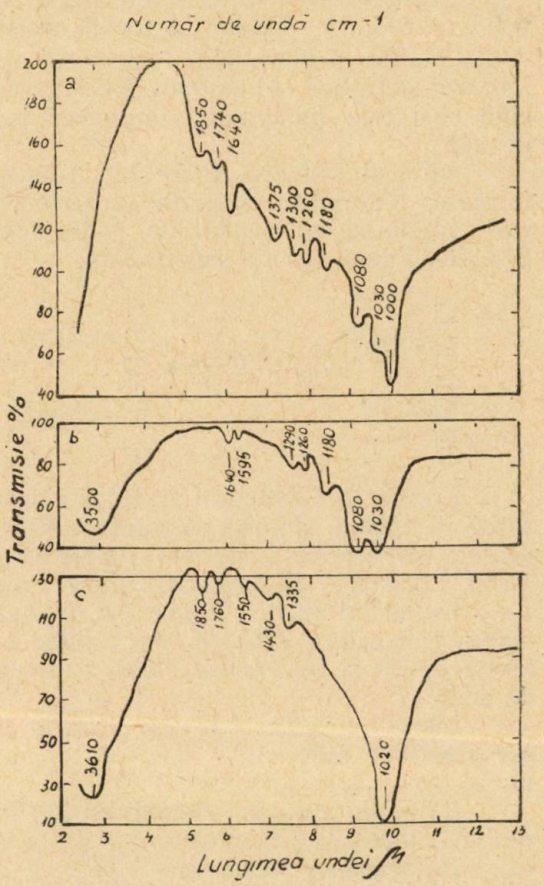



*Fig. 7.* Spectrele zirconului tratat cu oleat de sodiu la diferite valori pH:
a — tratat la pH=8,8; b — tratat la pH=3,8; c — tratat la pH=7,0.

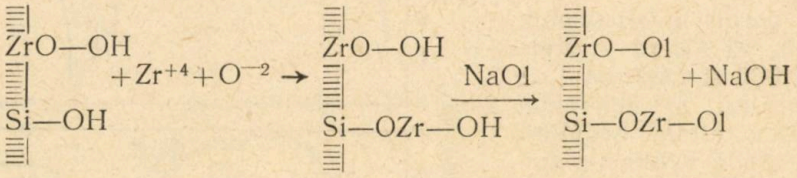
În mediul acid, *figura 7-b,* prezența frecvenților 1 030, 1 080, 3 500 $cm^{-1}$ indică formarea hidroxililor zirconiului și siliciului. Frecvența 1 080 $cm^{-1}$ fiind caracteristică și grupei $SO_4^{-2}$, indică posibilitatea formării de sulfați ai zirconiului.

Experienţele de flotaţie arată că flotaţia zirconiului în mediul acid la pH=3,8 practic lipseşte, cu toate că datele radiometrice indică fixarea reactivului colector.

Prezenţa frecvenţelor 1 595, 1 640 $cm^{-1}$ indică fixarea ionilor oleat, datorită acţiunii cu ionii de zirconil $ZrO^{+2}$.

Prezenţa frecvenţelor 1 180, 1 260, 1 290 $cm^{-1}$ arată că majoritatea oleatului de sodiu se fixează în formă moleculară. Frecvenţa 1 080 $cm^{-1}$ fiind caracteristică şi vibraţiilor de valenţă ale grupei $SO_4^{-2}$ indică posibilitatea formării sulfaţilor (4) de tipul $ZrOSO_4$ sau $H_2[ZrO(SO_4)_2]$. Ionii sulfat blocînd suprafaţa mineralului împiedică formarea complexului „mineral-bulă de aer".

In mediul neutru, *figura 7-c,* frecvenţele 1 020 şi 3 610 $cm^{-1}$ indică forformarea hidroxililor siliciului şi zirconiului de tipul Zr-OH şi Si-OZr-OH, care acţionînd cu oleatul de sodiu formează oleaţi de tipul ZrO-Ol şi Si-OZr-Ol după reacţia superficială.




Frecvenţa 1 430 $cm^{-1}$ arată că chemosorbţia oleatului de sodiu este însoţită de reacţia chimică ce conduce la formarea oleaţilor zirconiului. Frecvenţele 1 335, 1 550, 1 640 $cm^{-1}$ indică fixarea sub formă ionică iar frecvenţele 1 760, 1 850 $cm^{-1}$ fixarea moleculară a oleatului de sodiu.

In mediul alcalin, *figura 7-a,* frecvenţele 1 030, 1 080 $cm^{-1}$ indică for-, marea hidroxililor ZrO-OH, frecvenţele 1 300, 1 375, 1 640 $cm^{-1}$ fixarea sub formă ionică şi frecvenţele 1 180, 1 260 $cm^{-1}$ fixarea moleculară a oleatului de sodiu.

Lipsa frecvenţei 1 430 $cm^{-1}$ arată că sub acţiunea ionilor de hidroxil, chemosorbţia reactivului colector nu este însoţită de formarea oleaţilor metalelor.

Extracţia redusă a zirconiului la flotaţia în mediu alcalin, se datoreşte probabil hidrofilizării mineralului datorită acţiunii ionilor OH.

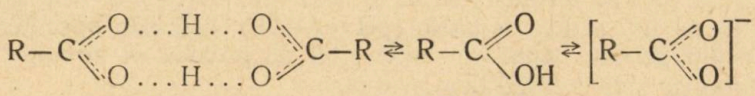
In spectrele monazitei, *figura 8,* frecvenţele în banda de adsorbţie 830—900 $cm^{-1}$ arată că determinanţii flotaţiei sînt ionii Ce, La, Ca, Th.

In mediul acid, cu toate că frecvenţele 1 339, 1 420 $cm^{-1}$ indică fixarea moleculară a colectorului, frecvenţele 950, 1 100, 3 550 $cm^{-1}$ ne arată că flotaţia redusă a mineralului se datoreşte formării sulfaţilor slab solubili cu ionii Ca, Th, TR şi a acidului silicic datorită prezenţei în mineral a siliciului.

In mediul neutru, *figura 8-a,* frecvenţele în banda de adsorbţie 830—900 $cm^{-1}$ caracteristice vibraţiilor de valenţă ale La-O, Ce-O, Th-O, Ca-O şi frecvenţa 1 439 $cm^{-1}$ arată că oleatul de sodiu, acţionînd cu hidroxilii, formează oleaţi ai acestor metale. Frecvenţa 1 339 $cm^{-1}$ indică fixarea sub formă

ionică iar frecvențele 1 222, 1 736, 2 890 $cm^{-1}$ indică fixarea sub formă moleculară a reactivului colector.

Acizii grași în stare lichidă există în trei forme de echilibru :




Dimer (formă ionizată) — Monomer (formă moleculară) — Ion (formă ionică)

Frecvența 1 736 $cm^{-1}$ este deplasată datorită tendinței grupei carboxil de a se asocia prin legături cu hidrogen formînd molecule de Dimer [14]. Această tendință ne este demonstrată și de frecvența 2 890 $cm^{-1}$ caracteristică vibrațiilor de valență ale grupei OH în dimeri.

Frecvențele 2 418 și 3 910 $cm^{-1}$ nu s-au putut identifica, însă după unele surse de specialitate prima este caracteristică combinațiilor organice cu fosforul iar a doua grupelor OH ale apei capilar condensate din mineral [12], [17].

În mediul alcalin, *figura 8-b,* frecvența 1 040, 3 600 $cm^{-1}$ indică formarea hidroxililor fosforului și siliciului de tipul P-OMe-OH și Si-OMe-OH, care acționînd cu oleatul de sodiu formează oleați ai Ca, Th, La, Ce de tipul P-OMe-Ol, Si-OMe-Ol.

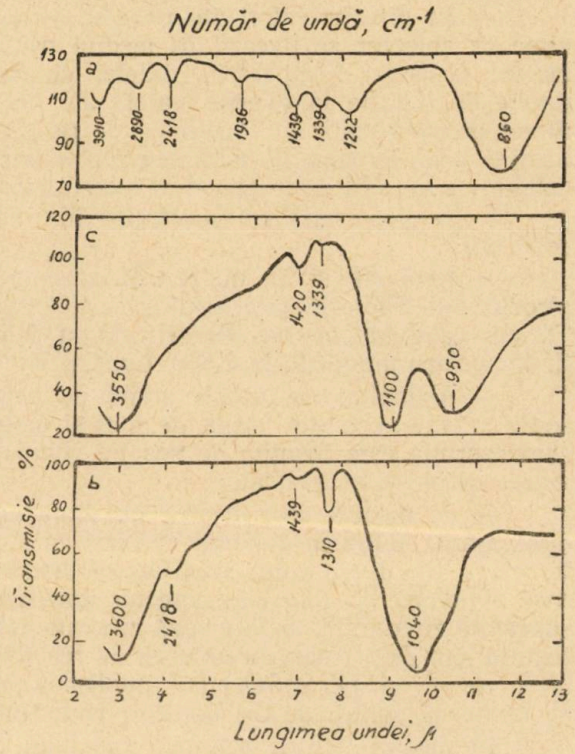



*Fig. 8.* Spectrele monazitei tratate cu oleat de sodiu la diferite valori pH :
a — tratată la pH=7; b — tratată la pH=8,8; c — tratată la pH=3,8

Frecvențele 1 439 $cm^{-1}$ caracteristică oleaților metalelor și 1 310 $cm^{-1}$ caracteristică grupei $COO^-$ ne arată că fixarea sub formă ionică a oleatului de sodiu este însoțită de reacția chimică de formare a oleaților metalelor.

## CONCLUZII

1. La diferite valori pH, oleatul de sodiu este colector eficace pentru piroclor și zircon în mediul neutru și slab bazic (pH=7—8) iar pentru monazită în mediul neutru și bazic (pH=7—11). Acțiunea specifică a oleatului de sodiu permite separarea monazitei de piroclor și zircon.

2. Analiza radiometrică demonstrează :

— Mărirea consumului de oleat de sodiu conduce la creșterea cantității de reactiv ce se fixează pe minerale iar la consumuri ce asigură extracția suficientă a mineralelor se fixează mai multe strate de adsorbție monomoleculară. Din cantitatea de reactiv folosită se fixează puternic numai 5—10%.

— La diferite valori ale pH-ului pe piroclor și zircon cantitatea maximă de colector se fixează în mediul neutru, iar pe monazită în mediul neutru și bazic. Compararea datelor de fixare ale oleatului de sodiu cu datele de flotație la diferite valori ale pH-ului arată că flotația nu este direct proporțională cu cantitatea de reactiv colector fixată, ci depinde în mediile acid și bazic de acțiunea reactivilor regulatori cu suprafața mineralelor, de specificul structural al mineralelor.

3. În urma analizei spectrelor în infraroșu s-au tras următoarele concluzii :

— Ionii Nb și Ta nu pot fi considerați ca determinanți ai flotației piroclorului. Flotația piroclorului se datorește acțiunii ionilor Ca, Fe, Ti, TR cu reactivul colector. Pentru zircon determinanți ai flotației sînt ionii Zr iar pentru monazită ionii Ce, La, Ca, Th.

— Acționînd cu centrii activi de reacție ai mineralelor, oleatul de sodiu se adsoarbe sub formă de ioni și molecule, iar în condiții favorabile chemosorbția este însoțită de reacția chimică eterogenă ce conduce la formarea de oleați ai metalelor.

— În mediul acid oleatul de sodiu se fixează în special sub formă moleculară. Acțiunea acidului sulfuric cu suprafața piroclorului conduce la formarea titanilsulfatului $TiOSO_4$, la disociația căruia rezultă ioni $TiO^{+2}$, care acționînd cu reactivul colector condiționează flotația mineralului. La suprafața zirconiului se formează zirconil-sulfat $ZrOSO_4$, la disociația căruia rezultă ioni $ZrO^{+2}$ care acționează cu reactivul colector, însă formarea anionilor complecși $[ZrO(SO_4)_2]^{-2}$ împiedică flotația. La suprafața monazitei se formează sulfați de Ce, La, Ca, Th ce împiedică flotația.

În mediul neutru acțiunea oleatului de sodiu conduce la formarea oleaților metalelor.

În același timp are loc chemosorbția ionilor și moleculelor reactivului colector.

În mediul alcalin, la suprafața monazitei, paralel cu formarea oleaților metalelor are loc chemosorbția ionilor și moleculelor reactivului colector, care condiționează flotația mineralului. La suprafața piroclorului și zir-

conului chemosorbția ionilor și moleculelor reactivului colector nu este însoțită de formarea oleaților metalelor, iar adsorbția ionilor OH reduce flotația mineralelor.

## BIBLIOGRAFIE


1. A. M. Gaudin (1957): *Flotation.* Mc. Graw-Hill Book Company, Inc.
2. P. A. Rebinder ș. a. (1933): *Fiziochimia flotationîh proțessov.* Metallurghizdat.
3. M. A. Eigeles (1964): *Osnovî flotații nesulfidnîh mineralov,* Nedra.
4. S. I. Polkin (1960): *Flotația rud redchih metallov i olova.* Gosgortehizdat.
5. V. I. Solnîșkin (1962): Vliianie chisloroda na poverhnosti necotorîh nesulfidnîh mineralov. *Neucinîe soobșcenia I.G.D. imeni Scocinscogo. Vîp. XVI*-Gosgortehizdat.
6. I. N. Plaksin, V. I. Tiurnicova (1956): *Izvestia A N* SSSR, OTN, *8.*
7. A. G. Lopatin, I. N. Plaksin (1960): *Izvestia VUZ,* Tvetnaia Metallurghia, *1.*
8. G. M. Sapovalov (1958): Izvlecenie piroclora i tircona iz tonkovkpaplennîh rud Vișnevogorskogo mestrorojdenia. *Dizertație,* Moscova.
9. Min. Cen De (1963): Izucenie flotaționîh svoistv columbita i necotorîh soputstvuiușcih mineralov. *Dizertație,* Moscova.
10. T. B. Naifonov, S. I. Polkin, R. S. Safeev (1963): Sostoianie dvinogo electricescogo sloia tantalita i nekotorîh soputstvuiușcih mineralov pri flotații. *Izvestia VUZ* Tvetnaia Metallurghia, *3.*
11. P. Ilie (1964): Izucenie uslovii flotationnogo razdelenia monațita ot piroclora i țircona. *Dizertație,* Moscova.
12. J. Lecomte (1949): *La spectrometrie infrarouge et ses applications physico-chimiques,* Paris.
13. B. F. Ormont (1950): *Structurî neorganiceschih veșcestv.* Goshimizdat.
14. V. I. Solnîșchin, Min Cen De (1963): Mehanism depresii i activații columbita pri flotații oleatom natria. *Sb. Obogascenie rud i uglei.* Iz. Academii Nauk SSSR.
15. Tzî Lu Sou (1960): Izucenie vliiania chislot i reguliatorov na flotiruemosti mineralov titana. *Dizertație,* Moscova.
16. I. N. Plaksin, V. I. Solnîșchin (1961): Deistvie rastvora edcogo natra na povernosti berilla pri podgotovke K flotații. *Izvestia VUZ,* Țvetnaia Metallurghia, *3.*
17. L. J. Bellamy (1958): *The Infra-Red Spectra of Complex Molecules,* London, Methuen.
18. A. D. Cross (1960): *An introduction to practical infrared Spectroscopy.* London.
19. K. Nakanishi (1962): *Infrared Absorption Spectroscopy Practical.* San Francisco, Holden-Day Inc.
20. M. Avram, Gh. Mateescu (1966): *Spectroscopia în infraroșu, aplicații în chimia organică.* Ed. Tehnică, București.


*Manuscris primit în iunie, 1966*

# TOPIREA AUTOGENĂ A CONCENTRATELOR DE CUPRU

ERNESTO KAUSEL V.

*Jefe Subdepartamento Metalurgia, Prof. Metalurgia extractiva, Universidad de Chile Av. Tupper 2069, Santiago-Chile : Cassila 2777.*

Se explică pe scurt principiile de topire autogenă a concentratelor de cupru şi se face o descriere a procesului. Se descrie topirea Outokumpu Oy, se analizează în general bilanţul material şi termic rezultat aplicînd procesul unui amestec de pirită, calcopirită-gangă. Odată obţinute ecuaţiile, care reprezintă condiţiile de topire în funcţie de compoziţia încărcăturii, se face o reprezentare grafică pe o diagramă ternară, determinînd zonele de topire autogenă pentru diferitele minereuri ale şarjei rezultate.

## 1. GENERALITĂŢI ŞI ISTORIC

Procesul de topire autogenă a concentratelor de cupru (Flash-Smelting) este una din cele mai interesante progrese din ultimii ani cu privire la metalurgia cuprului. El constă în topirea concentratelor fără întrebuinţarea de combustibil din afară, utilizînd doar căldura generată de combustia sulfului din încărcătură.

Acest proces este bazat pe aceleaşi reacţii chimice care se produc la topirea piritică a concentratelor. Diferenţa fundamentală faţă de acesta din urmă constă în faptul că în timpul procesului de topire autogenă se tratează încărcături de granulaţie fină. Imposibilitatea topirii unei astfel de încărcături în cuptorul cu cuvă a fost unul din factorii determinanţi care a exclus posibilitatea utilizării în perspectivă a procesului de topire a piritei.

O experienţă realizată de F. Laist [1] în anul 1931 poate să se considere precursoarea procesului. Aceasta a constat în montarea unui cuptor de prăjire deasupra unui cuptor cu reverberaţie, în aşa fel ca prăjitul să cadă direct în zona de topire a cuptorului cu reverberaţie.

Cuptorul de prăjire constă dintr-o cuvă de secţiune pătrată cu latura interioară de 0,90 m şi 6 m înălţime. Concentratul se insuflă prin partea superioară a cuvei cu un curent de aer, încălzindu-se pe traiect pentru ca apoi să cadă în baia topită. Prin această dispunere a cuvei de reacţie se pretindea diminuarea consumului de combustibil datorită faptului că materialul

ar ajunge mai cald în baia de topire şi pentru al doilea motiv mai puţin important, că gazele calde din cuva de reacţie ar traversa interiorul cuptorului cu reverberaţie, înainte de a fi evacuate. Datele acestor experienţe s-au comparat cu rezultatele practice ale unui cuptor cu reverberaţie (cuptor convenţional) cu aceleaşi dimensiuni (0,90×6,40 m) care a funcţionat paralel cu primul (fără cuvă de reacţie, utilizînd material prăjit).

Cuptorul cu cuvă de reacţie a topit pe toată durata experimentării de 2,5 ori mai multă încărcătură decît cuptorul convenţional, iar consumul de combustibil pe tona de încărcătură s-a micşorat cu 60%. În această experienţă nu s-a pretins de fapt topirea autogenă a încărcăturii ci doar creşterea capacităţii cuptorului şi micşorarea consumului de combustibil, ceea ce s-a reuşit cu succes.

În anul 1944 Compania Outokumpu Oy, din Finlanda a studiat (după ce în prealabil obţinuse succese la topirea concentratelor într-un cuptor electric în anul 1935) posibilitatea de instalare a unui cuptor de reverberaţie convenţional. Cauza acestei schimbări de tehnologie îşi găseşte justificarea în costul ridicat al energiei electrice care făcea neeconomică utilizarea cuptorului electric. Instalarea unui cuptor cu reverberaţie convenţional implica pe de o parte dependenţa de combustibil străin, dar pe de altă parte însemna să se folosească un proces deja încercat şi sigur, în mod practic în afara oricărei surprize. S-a hotărît atunci să se încerce dacă concentratul putea fi topit prin metoda autogenă. Bilanţurile termice indicau o cantitate de căldură degajată în urma reacţiilor exoterme, suficientă pentru desfăşurarea normală a procesului, fapt pentru care s-a construit o instalaţie-pilot de 75 tone pe zi, avînd astfel posibilitatea de a extinde datele la scară industrială. Rezultatele au fost bune astfel că s-a construit o instalaţie de topire a cărei capacitate este de 24 000 tone cupru pe an.

## 2. TOPITORIA OUTOKUMPU Oy

Această topitorie a fost amplu descrisă de Bryk [2] şi Benitez [3]. Este interesant totuşi să se releve aici caracteristicile sale cele mai importante.

Este vorba de un cuptor orizontal, dreptunghiular, cu lungimea de 17 m, lăţimea de 4,50 m şi înălţimea de 2,70 m, alimentat prin partea superioară a unei cuve de reacţie cilindrice de 3,50 m diametru şi 8 m înălţime (dimensiuni interioare). În partea superioară a cuvei de reacţie este dispus un arzător compus din două tuburi concentrice.

Printr-un orificiu lateral în tubul interior se alimentează concentratul uscat şi fondantul care cad libere. Prin tubul exterior se suflă aer încălzit la 500 °C. În timpul căderii amestecului aer-solid, de-a lungul cuvei se produc reacţiile de descompunere a sulfurilor, oxidarea FeS-ului şi a S şi o parte a reacţiilor din care rezultă zgura. Topitura rezultată din aceste reacţii este captată direct în baia cuptorului. Acesta are rolul de a separa prin

decantare mată de zgură şi a o reţine pînă la transportarea ei la convertizoare. Gazele calde (1 300 °C) trec în primul rînd printr-un cazan recuperator iar apoi printr-un recuperator pentru a preîncălzi aerul de combustie.

Datele cele mai importante ale operaţiei sînt următoarele:

*Concentrat*

Cu — 21,35%
Fe — 31,40% } 86,52%
S — 34,30%

$SiO_2$ — 7,20%
$Al_2O_3$ — 1,50% } 9,70%
CaO — 1,00%

Au — 0,10 oz/ton 0,1×28,3495 g)t= 2,83495 g)t
Ag — 1,10 oz/ton 1,1×28,3495 g)t=31,18445 g)t

*Mată*

Cu — 70%

*Zgură*

Fe — 40—42%
$SiO_2$ — 29—31%
CaO — 2— 4%
Cu — 0,81%
S — 0,8—1,2%

*Gaze*

$SO_2$ — 12—15%
$O_2$ — 1— 2%
$N_2$ — 84—90%

În acest proces se consumă combustibil numai pentru uscarea concentratului, valoarea consumului ajungînd la 8 kg de combustibil lichid tonă de concentrat.

Secţia de topire produce 24 000 tone Cu pe an, iar secţia auxiliară de $H_2SO_4$ care utilizează $SO_2$ din gazele de combustie produce 250 tone pe zi de $H_2SO_4$.

## 3. CONDIŢIILE NECESARE EFECTUARII TOPIRII AUTOGENE

Cu toate că Bryk [2] face un bilanţ termic pentru 4 concentrate cu conţinuturi diferite de calcopirită, pirită şi gangă, demonstrînd că acestea se pot topi autogen, nu ajunge să stabilească o relaţie generală din care să rezulte condiţiile pe care trebuie să le îndeplinească (fără a efectua de fiecare dată bilanţul termic), un amestec de calcopirită, pirită şi gangă pentru a fi supus acestui tip de topire.

Condițiile pe care le stabilește Bryk în exemplele sale se vor menține în descrierea care urmează.

Acestea sînt:

— aerul pentru combustie se preîncălzește pînă la 650 °C,

— produsele rezultate în cuptor au o temperatură de 1 300 °C (mată, zgură, gaze),

— fierul din zgură nu va trebui să depășească 40%.

Reacțiile care intervin în proces sînt următoarele:

**0,346 kg Cu**

$$2\,CuFeS_2 \rightarrow Cu_2S + FeS + S \qquad (1)$$

1 kg 0,434 kg + 0,479 kg + 0,087 kg

$$FeS_2 \rightarrow FeS + S \qquad (2)$$

1 kg 0,733 kg + 0,267 kg

$$S + O_2 \rightarrow SO_2 \qquad (3)$$

1 kg 0,699 m³ 0,699 m³

$$2\,FeS + 3\,O_2 \rightarrow 2\,FeO + 2\,SO_2 \qquad (4)$$

1 kg 0,382 m³ 0,817 kg 0,255 m³

$$FeO + \text{ganga} + \text{fondant} \rightarrow \text{zgură} \qquad (5)$$

Valorile lui H pentru aceste reacții sînt:

$H_1 =$ 50,75 kcal/kg $CuFeS_2$ (1a)

$H_2 =$ 133,20 kcal/kg $FeS_2$ (2a)

$H_3 = -2\,210{,}00$ kcal/kg S (3a)

$H_4 =$ 1 279,15 kcal/kg FeS (4a)

$H_5 =$ —100 kcal/kg Fe (5a)

Conținutul caloric la 1 300 °C este:

Mată: 222 kcal/kg

Zgură: 340 kcal/kg

$SO_2$: 714 kcal/m³

$N_2$: 445 kcal/m³

Conținutul caloric al aerului la 650 °C este:
Aer: 205 kcal/m³.
Pierderile prin radiație și convecție vor fi:
pierderi: 100 kcal/kg concentrat.

a) **Bilanțul de materiale**

Să luăm 1 kg de concentrat,
fie :
x = greutatea de $CuFeS_2$ (kg),
y = greutatea $FeS_2$ (kg),
z = greutatea gangăi,
E = concentrația de Cu din mată.

Greutatea matei $= 0{,}346 \cdot \frac{x}{E}$ (kg)

$Cu_2S$ în mată $= 0{,}434 \cdot x$ (kg)

FeS în mată = greutatea matei — $Cu_2S$ din mată (kg)

$= 0{,}346 \frac{x}{E} - 0{,}434\, x$ (kg)

FeS total $= 0{,}479\, x + 0{,}733\, y$ (kg)

FeS oxidat = FeS total — DeS din mată (kg)

$= 0{,}479\, x + 0{,}733\, y + 0{,}434\, x - 0{,}346 \frac{x}{E}$ (kg)

$= 0{,}913\, x + 0{,}733\, y - 0{,}346 \frac{x}{E}$ (kg)

S labil $= 0{,}087\, x + 0{,}267\, y$ (kg)

Fe zgură $= \text{FeS oxidat} \cdot \frac{55{,}85}{87{,}91}$ (kg)

$= \text{FeS oxidat} \cdot 0{,}635$ (kg)

$= 0{,}580\, x + 0{,}465\, y - 0{,}219 \frac{x}{E}$ (kg)

Greutatea zgurei $= \frac{\text{Fe zgură}}{0{,}40}$

$= 1{,}449\, x + 1{,}164\, y - 0{,}549 \cdot \frac{x}{E}$ (kg)

$SO_2$ gaze $= \text{FeS oxidat} \cdot 0{,}255 + \text{S labil } 0{,}699$ ($m^3$)

$= 0{,}233\, x + 0{,}187\, y - 0{,}088 \cdot \frac{x}{E} + 0{,}061\, x + 0{,}186\, y$ ($m^3$)

$O_2$ aer $= \text{S labil. } 0{,}699 + \text{FeS oxidat} \cdot 0{,}382$ ($m^3$)

$= 0{,}061\, x + 0{,}187\, y + 0{,}349\, x + 0{,}280\, y - 0{,}132 \cdot \frac{x}{E}$ ($m^3$)

$= 0{,}410\, x + 0{,}467\, y - 0{,}132 \cdot \frac{x}{E}$ ($m^3$)

Aer $= \frac{O_2 \text{ aer}}{0{,}21}$ ($m^3$)

| | | |
|---|---|---|
| | $= 1{,}952\,x + 2{,}224\,y - 0{,}629 \cdot \frac{x}{E}\ (m^3)$ | |
| $N_2$ gaze | $=$ aer $\cdot\ 0{,}79\ (m^3)$ | |
| | $= 1{,}542\,x + 1{,}757\,y - 0{,}497 \cdot \frac{x}{E}\ (m^3)$ | |
| FeO zgură | $=$ FeS oxidat $\cdot\ 0{,}817$ (kg) | |
| | $= 0{,}746\,x + 0{,}599\,y - 0{,}283 \cdot \frac{x}{E}$ (kg) | |
| Greutate (gangă + fondant) | $=$ greutate zgură — FeO zgură | |
| | $= 0{,}703\,x + 0{,}565\,y - 0{,}266 - \frac{x}{E}$ (kg) | |
| Greutatea fondant | $=$ Greutate (gangă + fondant) — Greut. ganga | |
| Greutate gangă | $= z = 1 - x - y$ (kg) | |
| Greutate fondant | $= 1{,}703\,x + 1{,}565\,y - 0{,}266 \cdot \frac{x}{E} - 1$ (kg) | (6) |

b) **Bilanțul termic**

Toate cantitățile sînt exprimate în kcal/kg concentrat

| | | | |
|---|---|---|---|
| Descompunere calcopirită | $=$ | $-50{,}75\,x$ | |
| Descompunere pirită | $=$ | $-133{,}20\,y$ | |
| Combustie sulf | $=$ | $192{,}27\,x + 590{,}07\,y$ | |
| Combustie FeS | $=$ | $1167{,}86\,x + 937{,}62\,y - 442{,}59\,\frac{x}{E}$ | |
| Zgurificare | $=$ | $58{,}00\,x + 46{,}50\,y - 22{,}00\,\frac{x}{E}$ | |
| Entalpie aer preîncălzit | $=$ | $400{,}16\,x + 455{,}92\,y - 128{,}94\,\frac{x}{E}$ | |
| *Total intrate* | $=$ | $1767{,}54\,x + 1896{,}91\,y - 593{,}53\,\frac{x}{E}$ | (7) |
| Entalpie | $=$ | $492{,}66\,x + 395{,}76\,y - 186{,}66\,\frac{x}{E}$ | |
| Entalpie mată | $=$ | $76{,}81\,\frac{x}{E}$ | |
| Entalpie $SO_2$ | $=$ | $209{,}92\,x + 266{,}32\,y - 62{,}83\,\frac{x}{E}$ | |
| Entalpie $N_2$ | $=$ | $686{,}19\,x + 781{,}86\,y - 221{,}16\,\frac{x}{E}$ | |
| Pierderi | $=$ | $100$ | |
| *Total ieșite* | $=$ | $1388{,}77\,x + 1433{,}94\,y - 393{,}84\,\frac{x}{E}$ | (8) |
| Q exces $= (7) - (8)$ | $=$ | $378{,}77\,x + 452{,}97\,y - 199{,}69\,\frac{x}{E} - 100$ | (9) |

c) **Condiții de topire**

Pentru ca un concentrat de compoziție xyz să poată fi topit autogen trebuie ca :

$$Qexces \geqslant 0 \tag{10}$$

$$Greutate\ fondant \geqslant 0 \tag{11}$$

Ecuația (10) este evidentă dar (11) necesită o anumită explicație. Efectuînd bilanțul termic s-a presupus că s-a consumat o anumită cantitate de fondant pentru a produce o zgură cu 40% Fe. Cantitatea de fondant consumat este indicată de expresia (6). Dacă acum dorim să topim un concentrat de compoziție $x_1y_1z_1$ care face negativă expresia (6) rezultă că pentru a obține o zgură de compoziție prescrisă ar trebui să lăsăm ganga în concentrat, ceea ce nu este posibil. Nelăsînd-o am topi gangă neconsiderată în bilanțul termic, ceea ce e cu atît mai puțin posibil.

d) **Reprezentare grafică**

Am văzut că condițiile de topire autogenă s-ar fi putut exprima prin ecuațiile (10) și (11). Introducînd în ele expresiile date de (6) și (9) avem :

$$378{,}77\,x + 452{,}97\,y - 199{,}69 \cdot \frac{x}{E} - 100 \geqslant 0 \tag{12}$$

$$1{,}703\,x + 1{,}565\,y - 0{,}266\,\frac{x}{E} - 1 \geqslant 0 \tag{13}$$

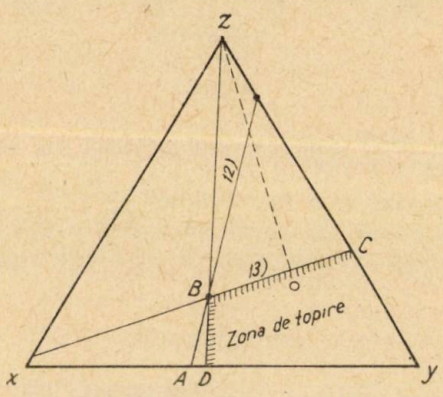



*Fig. 1.*

Dacă-l luăm pe E ca parametru și să găsim pentru fiecare voloare a lui E ecuațiile (12) și (13) într-un sistem de coordonate triunghiulare, vom obține pentru fiecare valoare a lui E o pereche de drepte care se intersectează.

Toate punctele din dreapta liniei (12) îndeplinesc condiția (10) și toate punctele din dreapta liniei (13) îndeplinesc condiția (11). Orice concentrat a cărui compoziție M rămîne în aria B.C. Y, D se poate topi. Pentru a produce zgura dorită trebuie ca fondantul necesar să urmeze linia Mz pînă cînd

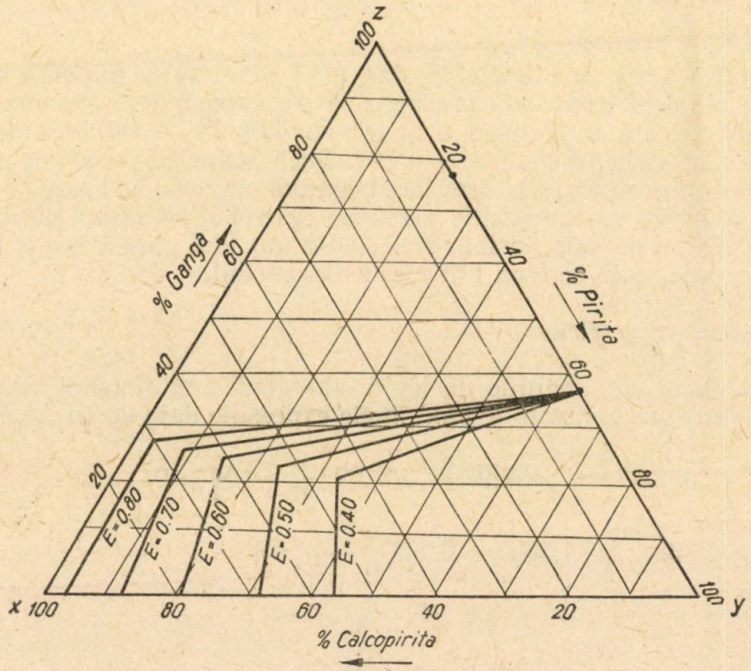



*Fig. 2.*

o taie pe (13). Aria ABD nu este compatibilă cu condițiile (10) și (11) deoarece orice dreptă Mz (M în triunghiul ABD) nu poate tăia pe (13) îndreptîndu-se spre z fără a o tăia înainte pe (12).

*Figura 2* arată zonele de topire autogenă pentru concentrate compuse din calcopirită și gangă, considerînd diferite concentrații de Cu în mată.

## BIBLIOGRAFIE

1. F. Laist, J P. Cooper (1933): *A.I.M.E. Transactions*, **106**.
2. Bryk (1952): *Radex Rundschau, 1.*
3. Benitez (1953): *E.M.J.* Oct.

*Manuscris primit în martie, 1967*

# TRATAMENTUL TERMOMECANIC AL OȚELURILOR DE CONSTRUCȚIE

N. SASSU

*Ministerul Industriei Construcțiilor de Mașini*

În prezenta lucrare s-au determinat influența gradului de deformare, a numărului de treceri la laminare și a temperaturii de revenire asupra proprietăților mecanice, microstructurii și structurii cristaline fine ale oțelurilor de construcție supuse TTMTS.

S-a stabilit că prin creșterea gradului de deformare și a numărului de treceri la laminare, caracteristicile de rezistență cresc în mod considerabil prin obținerea unei structuri martensitice cu un înalt grad de dispersie. Studiul structurii cristaline fine a arătat că în acest caz valoarea domeniului coerent de dispersie (blocurile) se micșorează treptat, iar densitatea defectelor rețelei cristaline (dislocației) crește.

Rezultatele cercetării au arătat că TTMTS micșorează influența temperaturii de revenire asupra scăderii caracteristicilor de rezistență.

Cercetările au stabilit de asemenea „reversibilitatea" TTMTS care deschide mari perspective aplicării în producție a acestei noi metode de tratament.

Una dintre metodele eficiente care permite îmbunătățirea proprietăților mecanice și a structurii oțelurilor întrebuințate în construcția de mașini o constituie tratamentul termomecanic la temperaturi superioare (TTMTS).

Prin această metodă, oțelul se deformează cu o viteză mare la temperatura de stabilitate a austenitei deasupra temperaturii de recristalizare, după care urmează imediat călirea bruscă, operație care exclude aproape complet recristalizarea structurii deformate.

Acest procedeu prezintă marele avantaj că deformarea plastică a oțelului se realizează la temperaturi ridicate, unde austenita se poate supune unui grad mare de reducere, prin aplicarea unor presiuni relativ mici în comparație cu tratamentul termomecanic la temperaturi inferioare (TTMTI); de asemenea procedeul poate fi aplicat la oțeluri la care stabilitatea austenitei este redusă, permițînd atingerea unei rezistențe superioare la rupere,

chiar la oțelurile obișnuite, fapt care duce la lărgirea posibilităților lor de întrebuințare, înlocuind pe cele aliate.

Deformarea oțelului în domeniul stabilității austenitei deasupra temperaturii de recristalizare trebuie să se realizeze în așa fel încît durata deformării plastice și a răcirii ulterioare să nu depășească timpul corespunzător începutului de transformare a austenitei.

Un asemenea tratament exclude fragilitatea de revenire a oțelului [1]—[6], îmbunătățește rezistența la rupere și plasticitatea [7], precum și limita de rezistență la oboseală [8], mărește reziliența atît la temperatura mediului ambiant cît și la temperaturi joase, coborînd totodată temperatura de fragilitate la temperaturi negative [9]. De asemenea micșorează sensibilitatea oțelului la formarea fisurilor [10].

În cazul aplicării tratamentului termomecanic are loc mărunțirea grăunților de austenită, formarea blocurilor, deformarea rețelei cristaline pe marginile pachetelor de alunecare și a blocurilor. Structura austenitei se obține cu atît mai fină cu cît gradul de deformare este mai mare. Prin aplicarea acestui procedeu, structura deformată tinde către o formă de stabilitate termodinamică, spre formarea unor grăunți echiaxiali concomitent cu o creștere a acestora.

Viteza de recristalizare a oțelului deformat este în funcție de mobilitatea atomilor de metal și de carbon. De asemenea, viteza de recristalizare depinde într-o măsură foarte mare de temperatură.

Prin călire se poate coborî repede temperatura metalului sub temperatura de recristalizare, menținînd structura fină a blocurilor de austenită deformate pînă la începutul transformării martensitice, determinînd decurgerea acestor procese în cadrul structurii blocurilor de austenită.

Cu cît este mai fină structura de austenită după deformare, cu atît mai bine se va menține în timpul transformării martensitice și cu atît cristalele de martensită vor fi mai mici.

Așadar, aplicarea tratamentului termomecanic prin deformarea oțelului deasupra punctului $AC_3$ favorizează obținerea unei structuri, precum și a unei substructuri deosebit de fine, ceea ce conduce la creșterea proprietăților mecanice și în special a rezistenței la rupere, fapt ce permite în mod implicit fabricarea mult mai rațională a diferitelor piese întrebuințate în construcția de mașini. Se creează deci posibilitatea micșorării secțiunii pieselor, respectiv a greutății lor, realizîndu-se importante economii de oțeluri aliate.

## 1. Influența gradului de deformare asupra rezistenței, plasticității și microstructurii oțelului

Cunoașterea influenței gradului de deformare permite stabilirea unor regimuri de tratament termomecanic corespunzătoare, care să asigure obținerea unor proprietăți mecanice superioare în comparație cu tratamentul termic obișnuit.

Stabilirea influenței gradului de deformare asupra structurii și substructurii, determinată pe cale roentgenostructurală, permite să se determine schimbările ce au loc în structura cristalină fină a oțelului, putîndu-se trage astfel concluzii asupra cauzelor care duc la obținerea unor proprietăți mecanice superioare, ce nu pot fi atinse prin aplicarea procedeelor de tratamente termice obișnuite.

Pentru determinarea influenței gradului de deformare, s-a cercetat oțelul D ; compoziția chimică a acestui oțel este arătată în tabela 1.

*Tabela 1*

| Denumirea convențională a oțelurilor | Numărul șarjei | Conținutul de elemente, în % | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | C | Si | Mn | Cr | Ni |
| D | 2 008 | 0,58 | 1,60 | 0,81 | ⩽0,20 | ⩽0,20 |
| I | 2 273 | 0,53 | 1,42 | 0,89 | ⩽0,20 | ⩽0,20 |
| B | 959 | 0,57 | 2,10 | 0,87 | ⩽0,20 | 0,086 |
| E | 2 009 | 0,62 | 2,16 | 0,85 | ⩽0,20 | ⩽0,20 |
| F | 2 010 | 0,59 | 2,65 | 0,83 | ⩽0,20 | ⩽0,20 |

Oțelul D, precum și celelalte mărci de oțeluri folosite în prezenta cercetare (tabela 1) au fost elaborate în cuptor cu inducție, folosind materiale obișnuite. Turnarea metalului s-a făcut în lingouri de 10 kg ; lingourile au fost supuse forjării, obținîndu-se semifabricate cu dimensiunile $20\times20\times100$ mm. Deformarea plastică a semifabricatelor în stare austenitică a fost executată la laminorul de laborator cu diametrul cilindrilor de 155 mm și cu o viteză de laminare de 13,5 m/min. Temperatura de încălzire a semifabricatelor a fost pentru toate mărcile de oțel 940—960 °C, iar timpul de laminare de aproximativ 5 s. În majoritatea cazurilor, deformarea la 50 și 70% s-a realizat dintr-o singură trecere, iar deformarea la 85% din două treceri. După terminarea laminării, semifabricatele obținute au fost supuse imediat călirii. Epruvetele de control (deformare 0%) au fost călite după încălzire la 950 °C. După tratamentul termomecanic și revenire corespunzătoare, din semifabricate s-au executat epruvete speciale (cu secțiunea de $2\times4$ și lungimea de 60 mm) pentru încercarea la tracțiune mecanică.

În *figura 1* se prezintă rezultatele încercărilor mecanice ale epruvetelor oțelului D supuse tratamentului termomecanic la temperaturi superioare după diferite regimuri, precum și ale epruvetelor supuse numai călirii și revenirii (deformare 0%).

Din figură rezultă că, o dată cu creșterea gradului de deformare la laminare pînă la 50%, caracteristicile de rezistență și de plasticitate cresc. După deformare la 70%, în majoritatea cazurilor s-a constatat o scădere a caracteristicilor de plasticitate ($\psi$ și $\delta$), ceea ce poate fi pus în legătură cu

posibilitatea formării unor aglomerări grosolane a defectelor rețelei cristaline între pachetele de alunecare, datorită unei deformări mari realizate dintr-o singură trecere la laminare [11].

Se remarcă faptul că valorii ridicate a rezistenței îi corespunde și o mare plasticitate și în special gîtuirea specifică crește în mod considerabil în comparație cu tratamentul termic obișnuit.

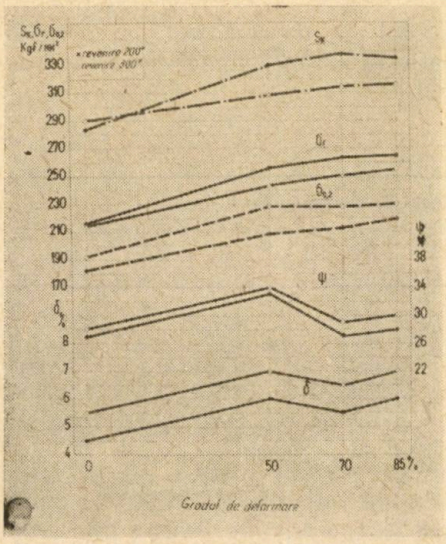



*Fig. 1.* Influența gradului de deformare asupra proprietăților mecanice ale oțelului D prin aplicarea tratamentului termomecanic; deformare la temperatura de 950 °C, călire revenire la 200 și 300 °C, o oră.

După cum rezultă din *figura 1*, prin aplicarea TTMTS cu un grad de deformare de 50%, toate caracteristicile de rezistență cresc atît după revenire la 200 cît și după revenire la temperatura de 300 °C. Rezistența la rupere după o revenire la 200 °C, timp de o oră, atinge 250—258 kgf/mm², limita de curgere convențională ($\sigma_{0,2}$) 210—216 kgf/mm², iar limita de rezistență reală (Sk) atinge, în medie, 330 kgf/mm². Indicatorii plasticității cresc de asemenea prin mărirea gradului de deformare la laminare. Gîtuirea specifică crește de la 27 (deformare 0%) — la 32%, iar alungirea specifică de la 4,5 la 6%. Mărind în continuare gradul de deformare la 70%, respectiv 85%, proprietățile mecanice $\sigma_r$, $\sigma_{0,2}$ și Sk cresc progresiv. Caracteristicile plasticității în cazul realizării unui grad de deformare de 70% dintr-o singură trecere la laminare, se micșorează datorită cauzelor sus-menționate. Astfel, gîtuirea specifică scade de la 32 la 27%.

După TTMTS prin deformarea austenitei cu un grad de reducere de 85%, realizat din două treceri succesive la laminare, rezistența la rupere a oțelului ($\sigma_r$) atinge, în medie, 265 kgf/mm², limita la rezistență reală Sk 335 kgf/mm², iar limita de curgere convențională 220 kgf/mm² (revenire 200 °C o oră).

Prin aplicarea tratamentului termomecanic la temperaturi superioare, caracteristicile de rezistență ($\sigma_r$, $\sigma_{0,2}$ și Sk) ale oțelului D cresc, în medie, cu 40—50 kgf/mm², în comparație cu cele obținute după tratamentul termic obișnuit (deformare 0%).

Analiza rezultatelor prezentate arată posibilitatea unei creșteri considerabile a proprietăților mecanice ale oțelurilor de construcție, cu creșterea gradului de deformare, prin aplicarea TTMTS.

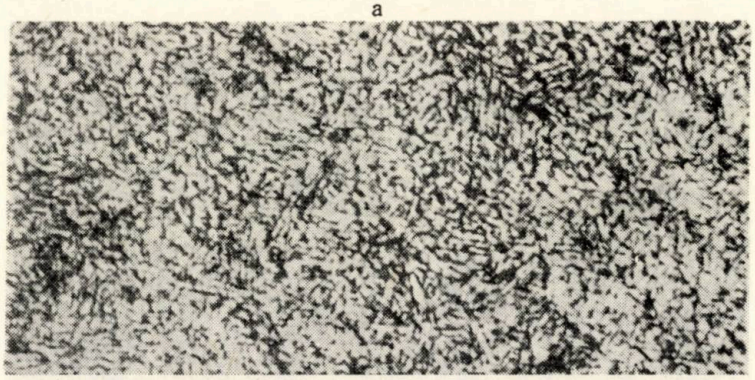
a

b

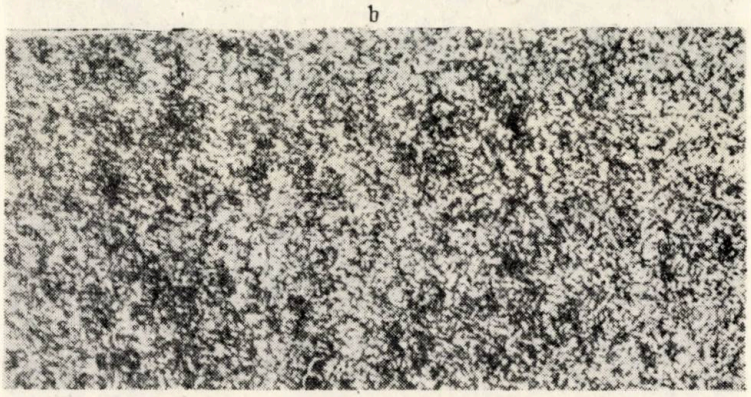
*Fig. 2.* Influența tratamentului termomecanic asupra microstructurii oțelului E ; ×2 000 :

a — deformare 0%, călire la 950 °C, revenire 350 °C o oră; b — deformare 50% la 950 °C, călire, revenire 350 °C o oră.

a



b



c

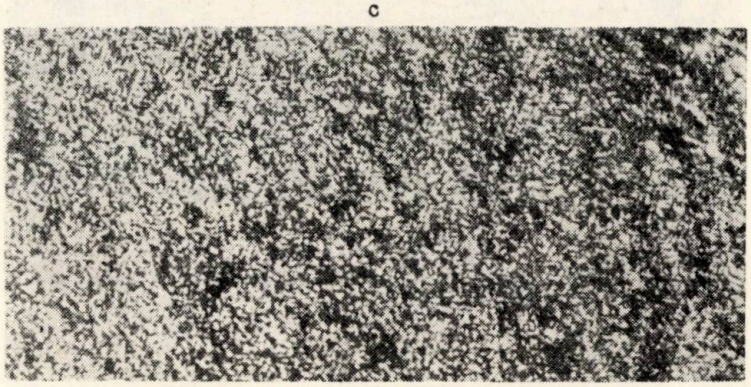


*Fig. 3.* Influența tratamentului termomecanic asupra microstructurii oțelului E ; ×450 :

a — deformare 0%, călire la 950 °C, revenire 350 °C o oră; b — deformare 50% la 950 °C, călire, revenire 350 °C o oră; c — deformare 85% la 950 °C, călire revenire 350 °C o oră.

Cercetarea structurii oțelului a arătat că martensita care se formează din austenita deformată la temperaturi înalte se deosebește prin forma ei de martensita ce se formează din austenita nedeformată. Deformarea plastică realizată la temperaturi ce depășesc temperatura de recristalizare conduce la mărunțirea cristalelor de martensită ce se formează prin răcire rapidă ulterioară.

Astfel, după efectuarea întregului ciclu de tratament termomecanic se obține o structură martensitică cu un înalt grad de dispersie (*fig. 2 b* și *3 b, c*) care diferă esențial de structura martensitică obținută după călirea obișnuită (*fig. 2 a* și *3 a*); din *figura 3* rezultă de asemenea că o dată cu creșterea gradului de deformare (de la 50 la 85%) crește gradul de dispersie al structurii martensitice.

## 2. Influența numărului de treceri la laminare asupra caracteristicilor de rezistență și plasticității oțelului

În lucrarea [11] s-a arătat influența numărului de treceri la laminare asupra proprietăților mecanice, microstructurii și structurii cristaline fine ale oțelurilor cu conținut de siliciu relativ ridicat (2,14 și 2,65% Si) supuse TTMTS.

Pentru practică prezintă de asemenea interes influența numărului de treceri la laminare asupra caracteristicilor de rezistență și de plasticitate ale oțelului cu conținut mediu de siliciu prin aplicarea TTMTS.

Pentru determinarea influenței creșterii numărului de treceri la laminare, s-au efectuat încercări cu două și trei treceri, la care suma deformațiilor a fost egală cu cea realizată dintr-o singură trecere.

Deformarea plastică a semifabricatelor în stare austenitică, s-a realizat prin laminare cu o viteză de 13,5 m/min. Temperatura de încălzire a semifabricatelor a fost de 940—960 °C. După terminarea laminării, semifabricatele obținute au fost supuse imediat călirii.

În *figura 4* sînt prezentate rezultatele încercărilor la tracțiune mecanică ale epruvetelor oțelului I supuse TTMTS, cu o deformare de 70%, realizată dintr-o singură trecere, respectiv din două și trei treceri.

Din figură rezultă că, o dată cu creșterea numărului de treceri la laminare (la 950 °C), rezistența la rupere a oțelului se micșorează treptat.

Astfel, dacă după o singură trecere rezistența la rupere este egală cu 250—253 kgf/mm$^2$, după două treceri ea se micșorează pînă la 235—240 kgf/mm$^2$, iar prin creșterea numărului de treceri pînă la trei, ea coboară și mai mult, atingînd 225—227 kgf/mm$^2$. Limita de curgere convențională ($\sigma_{0,2}$) și limita de rezistență reală (Sk) după deformarea realizată din două treceri se micșorează neînsemnat, iar după trei treceri scăderea este mult mai accentuată.

Prin mărirea numărului de treceri la laminare, în cazul aplicării TTMTS crește în mod considerabil gîtuirea specifică ($\psi$), și anume de la 25—28% (deformare 70% — o trecere) la 34—36% (deformare 70%, două treceri);

în cazul deformării din trei treceri, gîtuirea specifică se micşorează din nou, atingînd 30—32%. Alungirea specifică ($\delta$) în acest caz, indiferent de numărul de treceri, rămîne aproximativ constantă şi egală cu 5,5—6%.

Influenţa favorabilă pe care o are mărirea numărului de treceri la laminare asupra creşterii rezistenţei la rupere, precum şi asupra caracteristicilor de plasticitate a fost stabilită în lucrările [11], [12] şi a fost observată la oţelurile cu un conţinut de siliciu relativ ridicat (2,14 şi 2,65%) în comparaţie cu oţelul I care are un conţinut de 1,42% Si.

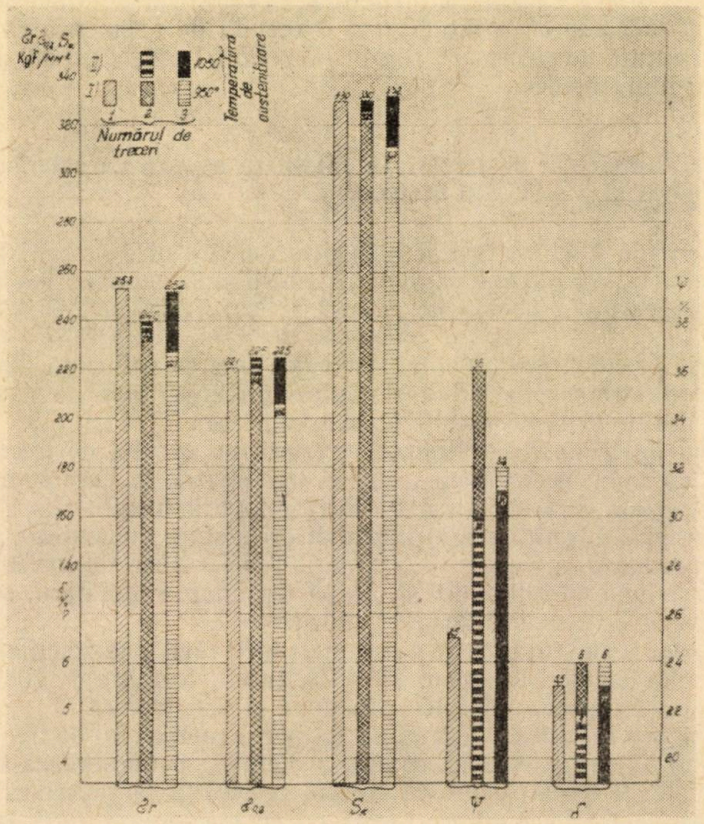



*Fig. 4.* Proprietăţile mecanice ale oţelului I după aplicarea TTMTS prin deformarea austenitei din mai multe treceri:

I. 1 — deformare 70% — dintr-o singură trecere — la 950 °C, călire, revenire 200 °C, o oră; 2 — deformare 70% — din două treceri — la 950 °C, călire, revenire 200 °C, o oră; 3 — deformare 70% — din trei treceri — la 950 °C, călire, revenire 200 °C, o oră.
II. 2 — deformare 70% — din două treceri — la 1 050 °C, călire, revenire 200 °C, o oră; 3 — deformare 70% — din trei treceri la 1 050 °C, călire, revenire 200 °C, o oră.

Realizarea deformării succesive (din mai multe treceri la laminare), în afară de faptul că permite folosirea unor laminoare mai puţin puternice,

condiționează apariția în metal a unor tensiuni interne relativ mici, împiedicînd astfel formarea micro- și macrofisurilor, respectiv ruperea metalului. În acest caz se asigură obținerea unei deformări uniforme în toată masa metalului și o mai mare omogenitate a substructurii (structurii cristaline fine).

Cercetările roentgenostructurale au arătat că prin creșterea numărului de treceri la laminare, la aceeași valoare a gradului de deformare ca și în cazul unei deformări realizate dintr-o singură trecere, valoarea domeniului coerent de dispersie (blocurile) și microtensiunile (tensiunile de gradul II) se micșorează, în timp ce densitatea rețelei cristaline (dislocația) crește [11], [12].

Rezultă astfel că creșterea proprietăților mecanice ale oțelului, ca urmare a creșterii numărului de treceri la laminare, este condiționată de caracterul formării structurii cristaline fine.

Mecanismul proceselor care au loc prin aplicarea TTMTS, cu realizarea deformării plastice din mai multe treceri, este analog și la oțelurile cu conținut mediu de siliciu, respectiv în cazul oțelului I cu 1,42% Si. Totuși, în acest caz, o dată cu creșterea numărului de treceri la laminare (deformarea la 950 °C), caracteristicile de rezistență se micșorează treptat. Rezultă că scăderea caracteristicilor mecanice este influențată de conținutul de siliciu, precum și de durata de menținere a oțelului, relativ lungă deasupra temperaturii de recristalizare.

Prin deformarea semifabricatelor de oțel la temperatura de austenitizare, din 2 și 3 treceri la laminare, durata de timp necesară pentru efectuarea întregului ciclu de laminare este mult mai mare decît în cazul laminării dintr-o singură trecere. Se creează astfel pericolul unei transformări premature a austenitei la temperatura de deformare sau a răcirii intensive a semifabricatelor în timpul laminării, acestea putînd duce la scoaterea oțelului din zona stabilității austenitei.

Descompunerea prematură a austenitei, care poate să aibă loc în procesul de deformare, duce la schimbarea proprietăților mecanice ale oțelului ca o consecință a durității mici a produselor de descompunere.

După cît se pare, micșorarea caracteristicilor de rezistență ale oțelului I, care se observă o dată cu creșterea numărului de treceri la laminare, este determinată de stabilitatea austenitei relativ mică, a acestui oțel cu un conținut de siliciu de 1,42%. O altă cauză poate s-o constituie și stabilitatea mică a acestui oțel în ceea ce privește recristalizarea.

Rezultă că, pentru obținerea unor proprietăți mecanice superioare, alegerea temperaturii de deformare a austenitei și a conținutului optim de elemente de aliere — în acest caz Si — are o deosebită importanță.

În acest scop s-au făcut experiențe pentru determinarea caracteristicilor de rezistență și de plasticitate prin deformarea austenitei la temperaturi mai ridicate. Astfel s-a aplicat TTMTS asupra oțelului I, cu o deformare de 70%, din două și trei treceri la laminare; temperatura de austenitizare fiind în acest caz 1 050 °C. Rezultatele încercării la tracțiune mecanică a epruvetelor oțelului I după TTMTS, conform regimului menționat, sînt arătate în

*figura 4.* Din figură rezultă că o dată cu mărirea numărului de treceri, în cazul creşterii temperaturii de austenitizare pînă la 1 050 °C, rezistenţa la rupere creşte de la 238—240 kgf/mm² (două treceri) la 248—252 kgf/mm² (trei treceri).

Comparînd rezultatele din *figura 4,* se observă că rezistenţa la rupere a oţelului creşte prin mărirea temperaturii de deformare. Astfel dacă după TTMTS cu deformarea austenitei la temperatura de 950 °C (trei treceri) rezistenţa la rupere este egală cu 225—227 kgf/mm², prin creşterea temperaturii de austenitizare pînă la 1 050 °C, (trei treceri) ea atinge 248—252 kgf/mm². Limita de curgere convenţională creşte de asemenea de la 206 la 225 kgf/mm², iar limita de rezistenţă reală de la 311 la 332 kgf/mm².

Cu toate că în acest caz (TTMTS — 1 050 °C ; trei treceri) se înregistrează o creştere a rezistenţei la rupere comparativ cu TTMTS — 950 °C — trei treceri, ea nu depăşeşte valoarea obţinută după TTMTS cu deformarea austenitei la temperatura de 950 °C, realizată dintr-o singură trecere ; aceasta se explică prin faptul că la temperatura de 1 050 °C, are loc recristalizarea parţială a austenitei deformate în comparaţie cu deformarea oţelului la 950 °C, unde decurgerea procesului de recristalizare nu are loc atît de intens.

Rezultă, aşadar, că pentru obţinerea unor proprietăţi mecanice superioare, în cazul aplicării TTMTS la oţeluri cu conţinut mediu de siliciu, deformarea austenitei trebuie să se realizeze fie la temperatura de 950°, dintr-o singură trecere, fie la temperatura de 1 050 °C, din trei treceri. Nu este raţională deformarea oţelului la 950 °C din două şi trei treceri (din cauza stabilităţii minime a austenitei), întrucît după un asemenea regim, după cît se pare, are loc descompunerea prematură a austenitei, care favorizează scăderea rezistenţei la rupere a oţelului.

Trebuie avut în vedere că, deşi deformarea oţelului la 1 050 °C — trei treceri, nu permite atingerea unei rezistenţe superioare (faţă de TTMTS cu deformarea austenitei la 950 °C dintr-o singură trecere), în acest caz însă, la aceleaşi valori ale caracteristicilor de rezistenţă şi de plasticitate, se uşurează în mod deosebit efectuarea tratamentului termomecanic.

### 3. Influenţa temperaturii de revenire asupra proprietăţilor mecanice ale oţelurilor

In *figura 5* se prezintă influenţa temperaturii de revenire asupra proprietăţilor mecanice ale oţelului B atît după aplicarea TTMTS (deformare 50%), cît şi după tratamentul termic obişnuit (deformare 0%). Din figură rezultă că TTMTS micşorează influenţa temperaturii de revenire asupra scăderii caracteristicilor de rezistenţă ale oţelului. Indiferent de temperatura de revenire (de la 200 la 400 °C), caracteristicile de rezistenţă şi de plasticitate sînt superioare la epruvetele supuse tratamentului termomecanic comparativ cu cele obţinute la epruvetele supuse călirii obişnuite.

După revenire la 200 °C (deformare 50%), rezistența la rupere ($\sigma_r$) atinge în medie 263 kgf/mm²; prin creșterea temperaturii de revenire pînă la 300 °C, rezistența oțelului se micșorează treptat pînă la 240 kgf/mm².

După tratamentul termomecanic și revenire la 200 °C — o oră, rezistența la rupere crește cu 40 kgf/mm², iar după revenire la temperatura de 400 °C creșterea este de 10 kgf/mm² în comparație cu tratamentul termic obișnuit.

Limita de rezistență reală (Sk) se micșorează de asemenea o dată cu creșterea temperaturii de revenire. După cum rezultă în *figura 5*, limita de rezistență reală atinge 340 kgf/mm² — revenire 200 °C — depășind cu 60 kgf/mm² valoarea care se obține la epruvetele nedeformate, supuse călirii obișnuite și aceleeași temperaturi de revenire. Prin creșterea temperaturii de revenire pînă la 300 °C, limita de rezistență reală scade neînsemnat, iar după revenire la 400 °C atinge, în medie, 265 kgf/mm², ceea ce reprezintă o scădere de 80 kgf/mm² comparativ cu revenirea epruvetelor la 200 °C.

Caracteristicile de rezistență trebuie analizate în strînsă interdependență cu indicatorii plasticității.

La un grad de deformare de 50% și revenire la temperaturile de 200, 300 și 400 °C, alungirea specifică ($\delta$) atinge corespunzător valorile 5,5, 6,5 și 8,5%. In același timp, la epruvetele supuse tratamentului termic obișnuit (deformare 0%), alungirea specifică a fost comparativ mai mică și anume 4,5 și 7%.

Gîtuirea specifică ($\psi$) după tratamentul termomecanic — deformare 50% — este superioară față de cea obținută la epruvetele nedeformate, indiferent de temperatura de revenire. Astfel, după revenire la 200, 300 și 400 °C, gîtuirea specifică este egală cu 30, 36 și 40%. La epruvetele supuse călirii obișnuite și la temperaturi de revenire corespunzătoare, gîtuirea specifică a fost în medie de 24, 29 și 34%, fiind mai mică cu 6% în comparație cu valorile obținute după TTMTS.

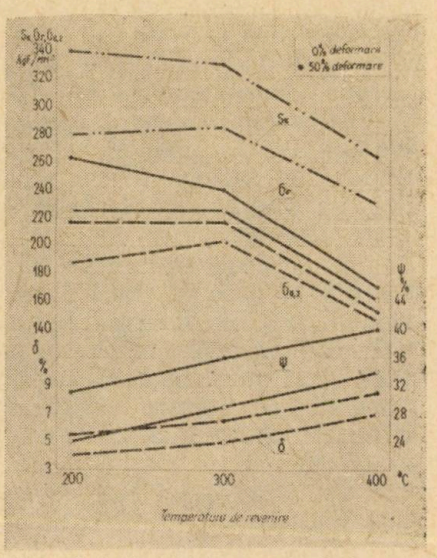



*Fig. 5.* Influența temperaturii de revenire asupra proprietăților mecanice ale oțelului B, după aplicarea TTMTS: deformare 0%, călire la 950 °C, revenire o oră; deformare 50% la 950 °C, călire, revenire o oră.

Menținerea unor proprietăți mecanice superioare după TTMTS prin creșterea temperaturii de revenire este condiționată de starea structurii cristaline fine a oțelului.

Cercetările au arătat că după TTMTS, indiferent de temperatura de revenire (200, 300 și 400 °C), mărimea blocurilor se menține mult inferioară

în comparație cu valorile obținute la epruvetele nedeformate, supuse tratamentului termic obișnuit. Prin mărirea temperaturii de revenire de la 200 la 400 °C, valoarea domeniului coerent de dispersie (blocurilor) crește neînsemnat la epruvetele supuse tratamentului termomecanic.

S-a stabilit de asemenea că în intervalul de temperatură de la 200 la 400 °C densitatea defectelor rețelei cristaline este mai mare la epruvetele supuse tratamentului termomecanic în raport cu cea obținută la epruvetele nedeformate [12], [13].

## 4. Efectul „reversibilității" tratamentului termomecanic

Pe baza cercetărilor efectuate [14], [15] s-a stabilit că dacă după aplicarea tratamentului termomecanic semifabricatele din oțel se supun unei reveniri înalte și apoi se reîncălzesc la temperatura de austenitizare cu o menținere minimă (de timp) la această temperatură, urmată de o răcire rapidă în apă și revenire joasă, proprietățile mecanice nu se micșorează, ci se mențin egale cu cele obținute direct după tratamentul termomecanic (acesta este așa numitul efect de „reversibilitate").

„Reversibilitatea" tratamentului termomecanic deschide mari perspective aplicării în producție a acestui procedeu de tratament, deoarece, după operația de revenire înaltă, semifabricatele pot fi supuse prelucrării mecanice, iar prin călire ulterioară se obțin aceleași proprietăți mecanice ca și în cazul aplicării directe a tratamentului termomecanic.

În prezenta lucrare s-a cercetat efectul „reversibilității" oțelului E. Din *figura 6* se vede că, dacă după TTMTS cu o deformare de 50% rezistența oțelului este de 267—271 kgf/mm², prin aplicarea tratamentului conform regimului 3 (*fig. 6*) rezistența oțelului scade pînă la 263 kgf/mm², adică în total 7 kgf/mm². Mult mai vizibil coboară în acest caz limita de curgere convențională, care se micșorează de la 221—235 la 214 kgf/mm², iar limita de rezistență reală de la 328—345 la 300—336 kgf/mm², adică în medie cu 30 kgf/mm².

În ceea ce privește caracteristicile de reziliență ele aproape nu se modifică, fiind egale în medie cu $\psi = 30\%$ și $\delta = 6{,}5\%$.

Asupra oțelului E s-au făcut experiențe pentru aplicarea tratamentului termomecanic și în cazul realizării unor grade de deformare mai mari. Astfel, după TTMTS cu o deformare de 85% (din două treceri la laminare) și revenire la 200 °C, rezistența la rupere a fost egală cu 275—280 kgf/mm².

O parte din epruvete, după aplicarea prealabilă a TTMTS (deformare 85%), au fost supuse în continuare următorului ciclu de tratament: revenire înaltă la 540—560 °C o oră, reîncălzire la temperatura de austenitizare (900 °C timp de 4 minute), călire și revenire joasă la 200 °C o oră.

După aplicarea acestui regim de tratament, rezistența la rupere se micșorează pînă la 270 kgf/mm², adică în medie cu 5—10 kgf/mm², așa după cum rezultă din *figura 7*.

Efectul „reversibilității" oțelului F supus tratamentului termomecanic cu o deformare de 85%, realizată din două treceri succesive la laminare, se

menține de asemenea aproape în întregime. După cum rezultă din *figura 8*, rezistența la rupere după TTMTS este egală cu 268—270 kgf/mm², iar după regimul de tratament menționat ea se micșorează la 260—268 kgf/mm², adică în medie cu numai 6 kgf/mm². Celelalte caracteristici de rezistență se micșorează într-o măsură relativ mică. Astfel, limita de curgere convențională

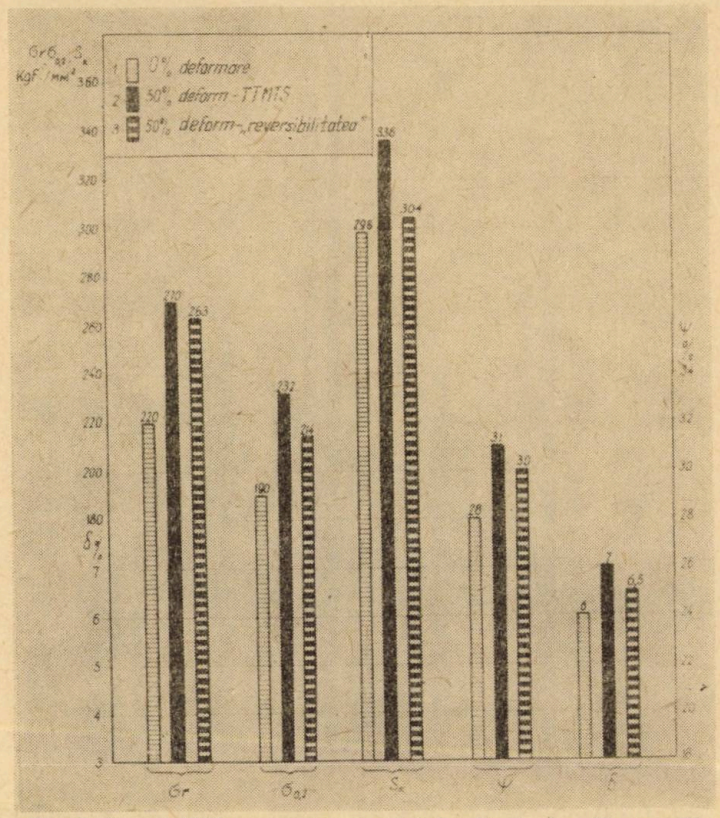



*Fig. 6.* Proprietățile mecanice ale oțelului E, după aplicarea diferitelor regimuri de tratament termomecanic:

1 — deformare 0%, călire la 950 °C, revenire 200 °C, o oră; 2 — deformare 50% la 950 °C, călire, revenire 200 °C, o oră; 3 — deformare 50% la 950 °C, călire, revenire la 540—560 °C, o oră, reîncălzire la 900 °C, 4 min, călire, revenire 200 °C, o oră.

($\sigma 0{,}2$) scade în medie cu 2 kgf/mm², iar limita de rezistență reală (Sk) cu 1 kgf/mm², ceea ce înseamnă că din punct de vedere practic ele aproape nu se modifică.

După tratamentul realizat după această schemă, plasticitatea oțelului se micșorează puțin, menținîndu-se totuși la un nivel destul de ridicat ($\psi = 28—32\%$ și $\delta = 6\%$).

Cercetarea efectului de reversibilitate arată, aşadar, că proprietăţile mecanice ale oţelului supus TTMTS pot fi redobîndite după operaţia de revenire înaltă, urmată de o reîncălzire rapidă la temperatura de austenitizare a oţelului şi călire bruscă.

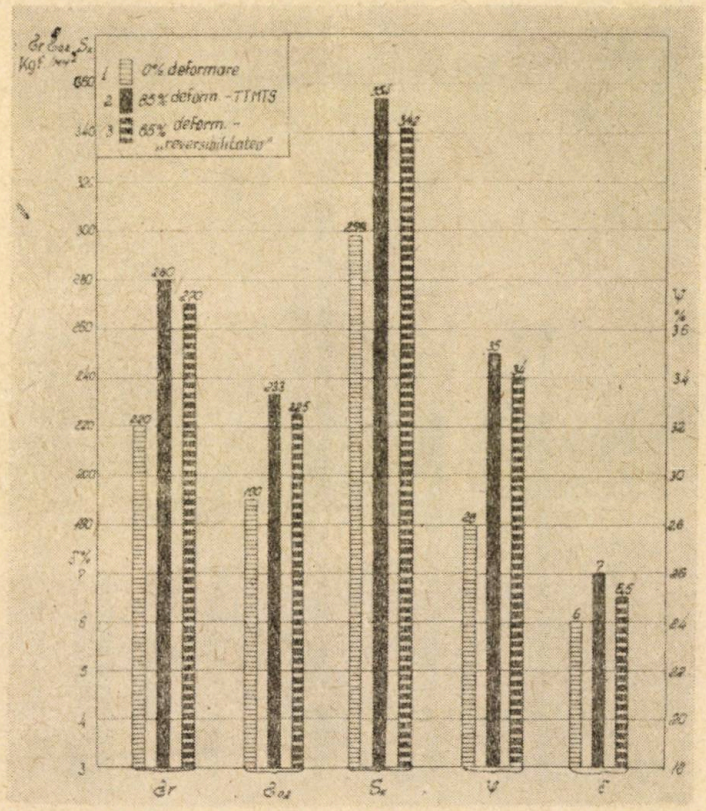



*Fig. 7.* Proprietăţile mecanice ale oţelului E, după aplicarea diferitelor regimuri de tratament termomecanic:

1 — deformare 0%, călire la 950 °C, revenire 200 °C, o oră; 2 — deformare 85% (din două treceri) la 950 °C, călire, revenire 200 °C, o oră; 3 — deformare 85% (din două treceri) la 950 °C, călire, revenire la 540—560 °C, o oră, reîncălzire la 900 °C, 4 min, călire, revenire 200 °C, o oră.

Cercetarea structurii cristaline fine a permis să se stabilească că tratamentul termomecanic micşorează influenţa temperaturii de revenire asupra creşterii blocurilor; acestea se menţin mici chiar şi la temperaturi relativ ridicate, în comparaţie cu cele obţinute după tratamentul termic obişnuit şi aceeaşi temperatură de revenire. Acest fenomen explică într-o oarecare măsură stabilitatea ereditară a influenţei ecruisării şi „reversibilitatea" tratamentului termomecanic [14], [15].

În ceea ce privește densitatea defectelor rețelei cristaline, aceasta se menține ridicată (după aplicarea prealabilă a TTMTS) chiar și după revenire la temperatura de 650 °C timp de 1,5 ore. Astfel creșterea proprietăților mecanice este determinată de valoarea ridicată a densității defectelor rețelei cristaline, care se menține după TTMTS și revenire înaltă [16].

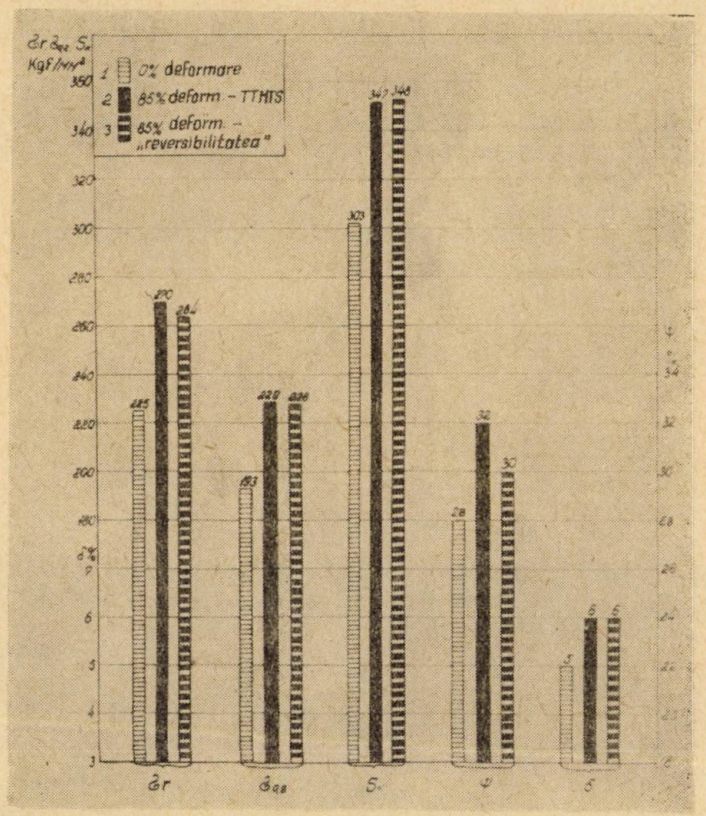



*Fig. 8.* Proprietățile mecanice ale oțelului F, după aplicarea diferitelor regimuri de tratament termic:

1 — deformare 0%, călire la 950 °C, revenire 200 °C, o oră; 2 — deformare 85% (din două treceri) la 950 °C, călire, revenire 200 °C, o oră; 3 — deformare 85% (din două treceri) la 950 °C, călire, revenire la 540—560 °C, o oră, reîncălzire la 900 °C, 4 min, călire, revenire 200 °C, o oră.

## 5. Influența TTMTS asupra schimbării structurii cristaline fine a oțelului

Creșterea proprietăților mecanice ca urmare a aplicării TTMTS, este condiționată de caracterul formării structurii cristaline fine (substructurii) a oțelului.

În acest scop s-a studiat mărimea fizică adevărată a liniei 110 ($\beta_1$) și 211 ($\beta_2$), schimbarea valorii domeniului coerent de dispersie (blocurile D), microtensiunile $\left(\text{tensiunile de gradul II, } \frac{\Delta a}{a}\right)$ și densitatea defectelor rețelei cristaline (dislocația, $\rho$), atît după TTMTS, cît și după tratamentul termic obișnuit (deformarea 0%).

În tabela 2 sînt arătate rezultatele cercetării structurii cristaline fine a oțelului D.

După cum rezultă din tabela 2, valoarea domeniului coerent de dispersie este mult mai mică la epruvetele care au fost supuse tratamentului termomecanic, în comparație cu cea obținută după călirea obișnuită și revenire corespunzătoare.

Aceasta se observă și din analiza curbelor intensității liniilor 110 și 211, obținute la epruvetele supuse tratamentului termic obișnuit, precum și TTMTS, așa după cum rezultă din *figurile 9* și *10*.

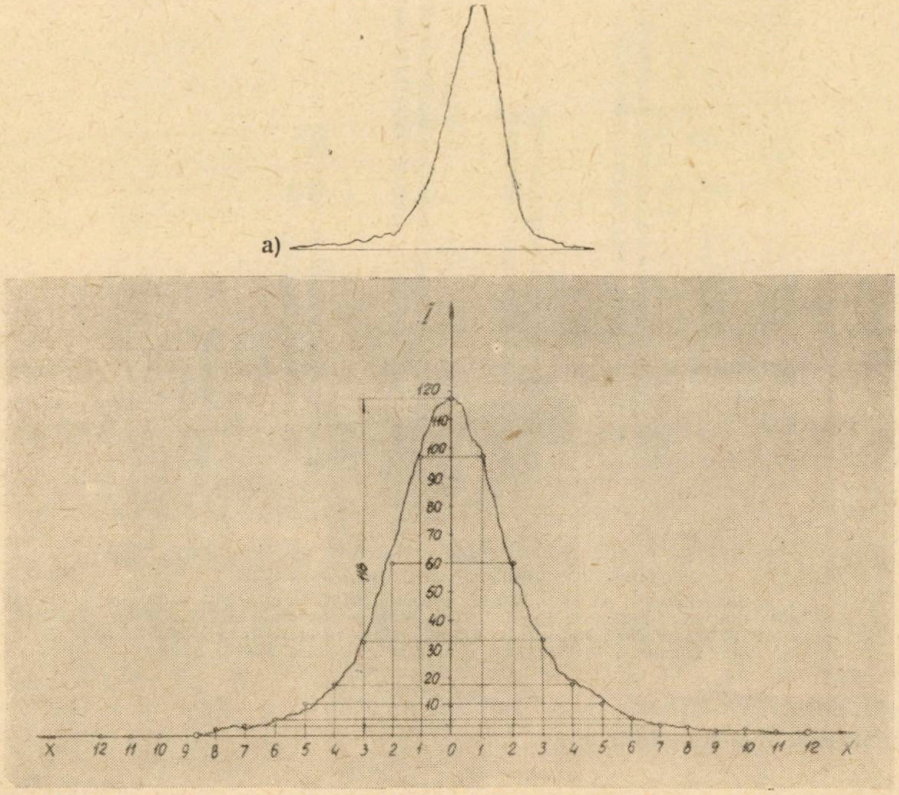



*Fig. 9.* Curbele intensității liniei (110) obținute la epruvetele oțelului E, după aplicarea tratamentului termic obișnuit (a) și TTMTS (b) cu o deformare de 85% la 950 °C, revenire 200 °C, o oră.

Dacă după tratamentul termic obișnuit (deformare 0%) dimensiunea blocurilor a fost $7{,}50 \cdot 10^{-6}$ cm, la o deformare de 50% se micșorează pînă la $3{,}06 \cdot 10^{-6}$ cm, adică este mai mică de 2,5 ori în comparație cu tratamentul termic obișnuit.

Densitatea defectelor rețelei cristaline (dislocației) crește după aplicarea tratamentului termomecanic la temperaturi înalte. Densitatea dislocației după TTMTS este de $3{,}98 \cdot 10^{11}$ cm$^2$/cm$^3$, iar după tratamentul termic obișnuit

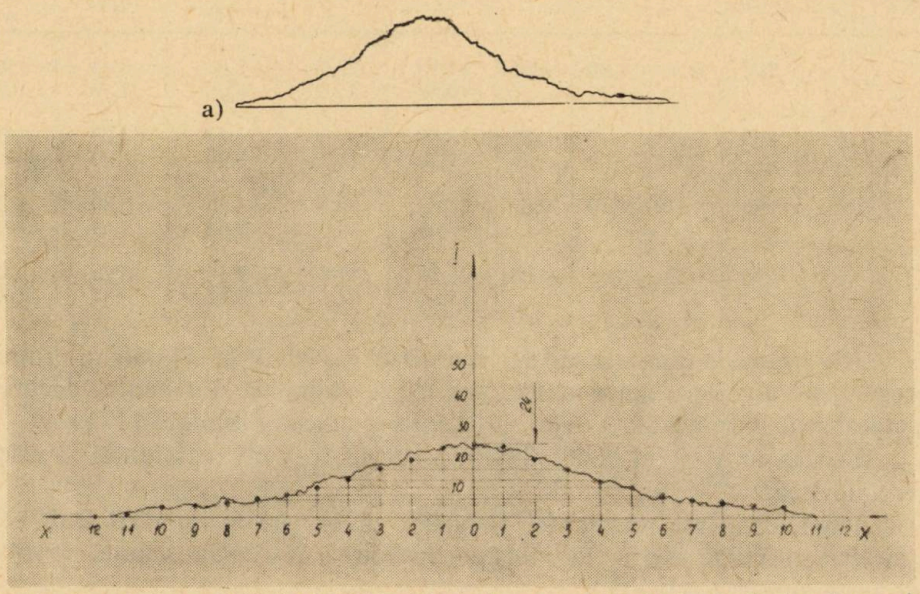



*Fig. 10.* Curbele intensității liniei (211) obținute la epruvetele oțelului E, după aplicarea tratamentului termic obișnuit (a) și TTMTS (b) cu o deformare de 85% la 950 °C, revenire 200 °C, o oră.

$2{,}24 \cdot 10^{11}$ cm$^2$/cm$^3$; rezultă după TTMTS că densitatea dislocației este aproape dublă.

După aplicarea tratamentului termomecanic la temperaturi superioare, în cazul studiat microtensiunile se micșorează într-o măsură relativ mică, atingînd $3{,}43 \cdot 10^{-3}$ rad, față de $3{,}72 \cdot 10^{-3}$ rad după călirea obișnuită și aceeași temperatură de revenire.

Rezultatele analizei roentgenostructurale a epruvetelor oțelurilor I, B, E (tabela 2) au arătat de asemenea că, după aplicarea TTMTS mărimea blocurilor se micșorează, iar densitatea dislocației crește comparativ cu tratamentul termic obișnuit, temperatura de revenire fiind aceeași după ambele procedee de tratament.

*Tabela 2*

**Rezultatele cercetării structurii cristaline fine a oțelurilor supuse tratamentului termomecanic la temperaturi superioare**

| Denumirea convențională a oțelului | Gradul de deformare (%) | Temperatura de revenire (°C) | Conținutul elementelor, în % | | | $\beta_1 \cdot 10^{-3}$ rad. | $\beta_2 \cdot 10^{-3}$ rad. | $D \cdot 10^{-6}$ cm | $\frac{\Delta a}{a} \cdot 10^{-3}$ rad. | $\rho \cdot 10^{11}$ cm$^2$/cm$^3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | C | Si | Mn | | | | | |
| D | 50 | 200 | 0,58 | 1,60 | 0,81 | 14,10 | 32,00 | 3,06 | 3,43 | 3,98 |
| | 0 | | | | | 10,60 | 23,40 | 7,50 | 3,72 | 2,24 |
| I | 50 | 200 | 0,53 | 1,42 | 0,89 | 13,80 | 26,00 | 1,84 | 1,37 | 3,80 |
| | 0 | | | | | 7,40 | 14,85 | 3,90 | 1,06 | 1,10 |
| B | 85 | 280 | 0,57 | 2,10 | 0,87 | 17,35 | 29,30 | 1,25 | 0,80 | 6,02 |
| | 0 | | | | | 13,05 | 27,60 | 2,60 | 2,44 | 3,40 |
| E | 50 | 200 | 0,62 | 2,16 | 0,85 | 15,70 | 34,20 | 2,44 | 3,26 | 4,93 |
| | 0 | | | | | 11,60 | 27,30 | 4,82 | 3,34 | 2,69 |

Prin prezența unui număr determinat de dislocații în cristale și printr-o corespunzătoare repartizare a lor, are loc o puternică durificare, deoarece se creează obstacole pentru deplasările interatomice în cristale [17].

Acestea arată rolul dislocației în procesul creșterii rezistenței la deformare plastică.

Astfel, creșterea rezistenței oțelurilor ca urmare a aplicării tratamentului termomecanic este în legătură cu formarea în cristale a unei structuri eterogene submicroscopice.

Schimbările de structură duc la durificarea austenitei și joacă un rol foarte mare în formarea martensitei. La răcire, după deformarea plastică, are loc transformarea austenitei în martensită tetragonală, cu formarea cristalelor de martensită, însă nu în limitele unor mari grăunți, ci a blocurilor mici ale austenitei deformate.

Ca rezultat al unei considerabile deformări plastice, austenita devine mult mai dispersă, iau naștere microtensiuni și are loc deformarea rețelei cristaline.

Ca o consecință, structura martensitică excesiv de fină care s-a format pe baza blocurilor cristaline mici ale austenitei deformate va determina în mod considerabil o rezistență superioară, comparativ cu rezistența care se obține la oțelurile supuse tratamentului termic obișnuit. Din acest punct de vedere este firească mărirea rezistenței ce se observă cu creșterea gradului de deformare plastică, în cazul aplicării tratamentului termomecanic.

## 6. CONCLUZII

Cercetarea oțelurilor de construcție supuse TTMTS permite să se tragă următoarele concluzii :

— Prin aplicarea tratamentului termomecanic la temperaturi superioare, caracteristicile de rezistență ($\sigma r$, $\sigma 0{,}2$ și Sk) cresc în medie cu 40—50 kgf/mm$^2$ în comparație cu cele care se obțin după tratamentul termic obișnuit.

— Prin creșterea gradului de deformare la laminare, în cazul aplicării TTMTS, caracteristicile de rezistență și de plasticitate cresc progresiv.

— Analiza metalografică a oțelurilor a arătat că după TTMTS se obține o structură martensitică cu un înalt grad de dispersie, care diferă esențial de structura martensitică obținută după călirea obișnuită.

— Studiul structurii cristaline fine a oțelurilor de construcție a arătat că tratamentul termomecanic la temperaturi superioare conduce la o considerabilă micșorare a mărimii domeniului coerent de dispersie (blocurilor) și la creșterea densității defectelor rețelei cristaline (dislocației), și această influență este mult mai vizibilă la grade mari de deformare.

— Prin creșterea numărului de treceri la laminare la aceeași valoare a gradului de deformare, ca și în cazul unei deformări realizate dintr-o singură trecere, caracteristicile de rezistență cresc prin menținerea unei plasticități satisfăcătoare.

— Tratamentul termomecanic micșorează influența temperaturii de revenire asupra scăderii caracteristicilor de rezistență. Indiferent de temperatura de revenire (în intervalul de la 200 la 400 °C), rezistența și plasticitatea oțelului sînt superioare la epruvetele oțelului supus TTMTS comparativ cu valorile obținute după tratamentul termic obișnuit.

— Cercetarea diferitelor regimuri de deformare a permis să se stabilească efectul „reversibilității" tratamentului termomecanic. Pe baza datelor experimentale s-a stabilit că dacă după aplicarea TTMTS semifabricatele din oțel se supun unei reveniri ridicate de 540—560 °C o oră, la o duritate de aproximativ 37—40 HRc și apoi din nou se reîncălzesc la temperatura de austenitizare de 900 °C, cu o menținere minimă de timp la această temperatură (4 min), urmată de o călire rapidă, proprietățile mecanice nu se micșorează și se mențin practic egale cu cele obținute direct după tratamentul termomecanic.

## BIBLIOGRAFIE

1. L. V. Smirnov, E. N. Sokolov, V. D. Sadovskii (1955): *Fizica metallov i metallovedenie* A.N. S.S.S.R. **103**, *4*.
2. E. N. Sokolov (1956) : *Fizika metallov i metallovedenie*, A.N. S.S.S.R. **3**, 79.
3. E. N. Sokolov, L. V. Smirnov și S. N. Petrova (1958): *Fizica metallov i metallovedenie*, A. N. S.S.S.R., 6.

4. E. N. Sokolov, V. D. Sadovskii (1957): *Fizika metallov i metallovedenie*, A. N. S.S.S.R., 4.
5. S. N. Petrova, V. D. Sadovskii și E. N. Sokolov (1960): *Uprocinenie stali, trudî conferenții*, Sverdlovsk, Metallurghizdat.
6. L. V. Smirnov, E. N. Sokolov și N. D. Sadovskii (1956): *Fizika metallov*, Trudî instituta.
7. M. L. Bernștein (1960): *Metallovedenie i termiceskaia obrabotka metallov*, 10.
8. N. Sassu (1965): *Metalurgia*, 7, iul. 350—354.
9. E. B. Kula și J. M. Dhosi (1960): *Trans. ASM*, 52.
10. B. A. Drozdovskii și Ia. B. Fridman (1960): *Vlianie treșchin na mehaniceskie svoistva construcționîh* stalei, Metallurghizdat.
11. N. Sassu (1965): *Studii și cercetări de metalurgie*, 2, p. 257—268.
12. D. A. Prokoskin și N. Sassu (1963): *Peredovoi naucino-tehniceskii i proizvodstvenîi opît*. Termomehaniceskaia i termomagnitnaia obrabotka stalei, Moscova, GOSINTI, 16—31.
13. N. Sassu (1965): *Revue roumaine des sciences techniques. Série de métallurgie*, 2,
14. N. Sassu (1966): *Studii și cercetări de metalurgie*, 1.
15. M. L. Bernștein ș. a. (1962): *Metallovedenie i termiceskaia obrabotka metallov*, 1, ian. 23—28.
16. V. D. Kalner ș. a. (1963): *Peredovoi naucino-tehniceskii i proizvodstennîi opît*. Termomehaniceskaia i termomagnitnaia obrabotka stalei, Moscova, GOSINTI, 3—8.
17. A. H. Kottrell (1957): *Dislokații i plasticeskoe tecenie v kristallah*. Moscova. Metallurghizdat

*Manuscris primit în iunie, 1967*

# DETERMINAREA SUPRAFEȚEI SPECIFICE A PULBERILOR ȘI A PERMEABILITĂȚII LA AER A CORPURILOR AGLOMERATE ȘI SINTERIZATE

I. BASCOVEANU

*Institutul de fizică atomică, București*

Această lucrare tratează despre metodele de măsurare a suprafeței specifice a pulberilor materiale. Metoda bazată pe permeabilitatea la fluide a unui strat de pulbere tasată este tratată mai pe larg, fiind utilizată de autor în lucrări curente de laborator, atît pentru măsurarea suprafeței pulberilor cît și pentru determinarea permeabilității la fluide a corpurilor obținute din pulberi aglomerate și sinterizate.

Sînt făcute considerații asupra accesibilității diferitelor metode și asupra preciziei rezultatelor obținute prin aplicarea lor. Sînt înseriate tabele cu rezultate.

## INTRODUCERE

Desfășurarea unor procese fizice și chimice la care participă și o fază solidă este dependentă de o serie de factori, printre care se numără și suprafața cu care faza solidă participă la proces. În acest sens putem aminti că reacția dintre un material în stare solidă și un reactiv chimic-solid, lichid sau gazos este cu atît mai intensă, cu cît suprafața de contact este mai mare. De asemenea cantitatea de gaz sau de lichid adsorbit de un adsorbant solid este cu atît mai mare, cu cît suprafața de adsorbție a adsorbantului este mai mare. De asemenea cantitatea de atomi sau de molecule care participă la procesul de difuzie ce are loc la contactul a două corpuri depinde de mărimea suprafeței de contact. Cataliza unor reacții chimice are loc pe suprafața catalizatorului. Aglomerarea și consolidarea particulelor în metalurgie și în metalurgia pulberilor se atribuie fenomenelor care se produc la suprafața de contact dintre particule. Se poate vedea din exemplele de mai sus că este foarte necesar să se cunoască suprafața fazei solide, ea constituind în astfel de cazuri un paramteru, o caracteristică importantă a procesului studiat.

Este evident că o suprafață mai mare a unui material se poate obține prin mărunțirea lui, dar chiar mărunțit în același grad, însă pe căi diferite, același material va căpăta suprafețe diferite. Suprafețe diferite vor avea și materialele care au fost mărunțite în același mod și grad, dar care sînt de proveniențe diferite.

Prin urmare, structura granulometrică a unui material sub formă de pulbere poate fi un indiciu al fineței și suprafeței lui, dar nu un parametru cantitativ, și de aceea este necesară cunoașterea suprafeței lui ca o proprietate importantă, care ne interesează direct în scopuri practice.

Din compoziția granulometrică a unui material sub forma de pulbere se poate determina cu aproximație suprafața materialului dacă se cunoaște forma particulelor [1], [9]. Trebuie spus mai întîi că pentru a caracteriza un material din acest punct de vedere se folosește termenul de suprafață specifică, adică suprafața exterioară pe care o are un gram de particule cînd vrem s-o exprimăm în $m^2$ sau $cm^2$ pe gram sau suprafața particulelor rezultate dintr-un $cm^3$ de material în stare compactă cînd vrem s-o exprimăm în $m^2$ respectiv $cm^2$ pe $cm^3$.

Dacă cunoaștem compoziția granulometrică a pulberii, pentru determinarea suprafeței specifice aplicăm formula (1):

$$S_0 = \frac{6}{\rho} \frac{\sum n_i d_i}{\sum \varphi_i n_i d_i} \ (cm^2/g), \tag{1}$$

în care :

$S_0$ este suprafața specifică m ($cm^2/g$),
$\rho$ — densitatea materialului în stare compactă ($g/cm^3$),
$n_i$ — numărul de particule cu diametrul $d_i$,
$d_i$ — diametrul particulei (cm),
$\varphi_i$ — coeficient de formă egal cu unitatea pentru sferă.

Dacă se cunoaște fracția de greutate sau volum $x_i$ de particule cu diametrul $d_i$, suprafața specifică va fi :

$$S_0 = \sum x_i S_{oi} = 6 \sum \frac{x_i}{\varphi_i d_i}. \tag{2}$$

Pentru particule de forme neregulate foarte complicate, coeficientul de formă $\varphi$ e greu de calculat cu precizie și de aceea valorile lui se obțin experimental.

Determinarea compoziției granulometrice a unei pulbere se face ușor prin cernere. Acest procedeu simplu poate fi aplicat la pulberi cu dimensiuni ale particulelor peste 100 μ, putîndu-se extinde chiar sub 100 μ pînă la 40 μ [1]. Sub această mărime de particulă, sitarea este exclusă, iar compoziția granulometrică se poate stabili prin determinări la microscop optic sau electronic, prin clasare în gaz sau lichid, prin măsurări electrice sau prin turbidimetrie. Aceste ultime posibilități de a determina granulometria sînt mai complicate ca aparatură și mod de lucru, iar ca precizie sînt discutabile.

În acest domeniu al mărimii particulelor sub 40 μ, pentru a caracteriza mai bine pulberea se determină și suprafața specifică a ei prin diferite metode pe care le vom vedea mai departe, chiar dacă aceasta nu ne interesează în mod direct, din ea putîndu-se determina un diametru mediu de particulă [12] folosind expresia

$$d_m = \frac{6}{\varphi \rho S_0} \text{ (cm)}, \tag{3}$$

în care:

$d_m$ este diametrul mediu al particulelor (cm),
$\varphi$ — coeficient de formă (ca în ecuația (1)),
$\rho$ — densitatea materialului (g/cm³),
$S_0$ — suprafața specifică a pulberii (cm²/g).

După cum am văzut mai înainte, într-o serie de procese este necesară cunoașterea suprafeței materialului, în care scop se determină suprafața sa specifică prin metode adecvate.

## METODE PENTRU DETERMINAREA SUPRAFEȚEI SPECIFICE

### 1. Metode bazate pe adsorbția gazelor sau vaporilor

În lucrările de specialitate mai vechi sau mai noi din acest domeniu, metodele de determinare a suprafeței specifice bazate pe adsorbția gazelor sau a vaporilor de către solidele sub formă de pulbere ocupă un loc important, fiind considerate ca cele care ne permit să evaluăm cît mai real mărimea suprafeței particulelor.

Fenomenul de adsorbție a gazelor sau a vaporilor poate fi de natură chimică sau fizică sau, combinat, fizică și chimică. Aspectul luat în considerație este fenomenul de adsorbție fizică. Solidul pe care are loc adsorbția e denumit adsorbant iar gazul sau vaporii care sînt adsorbiți reprezintă „adsorbatul". Fiind vorba de adsorbție e necesar ca adsorbatul să fie neutru din punct de vedere chimic față de adsorbant și de asemenea adsorbatul să nu difuzeze în solidul adsorbant. Într-o astfel de situație, adsorbția se datorește în primul rînd forțelor van der Waals dintre moleculele adsorbatului și moleculele suprafeței solidului [6].

Toate teoriile care se ocupă de determinarea cantitativă a adsorbției fizice pot fi împărțite în trei grupe [5]: grupul teoriilor cinetice, grupul teoriilor termodinamice și grupul teoriilor condensației capilare.

O verificare experimentală mai ușoară se poate face teoriei cinetice, care este și cea mai veche și de la care a fost pusă la punct metoda cea mai veche și mai precisă pentru determinarea suprafeței specifice a pulberilor fine, metoda BET standard.

Aceste teorii, pe baza unor modele teoretice, au dedus relații matematice între mărimile care intervin în procesul de adsorbție izotermă și

consideră că izotermele experimentale de adsorbție corespund ecuațiilor deduse, cel puțin într-un domeniu limitat al presiunii relative, pentru ca din ele să se poată determina capacitatea monostratului.

a) *Metoda BET*

Brunauer, Emmett și Teller, pornind de la faptul că expresia matematică dedusă de Langmuir pentru izoterma de adsorbție nu corespunde experimental decît unor izoterme de tipul I din clasificarea dată de Brunauer, Deming și Teller, au căutat să deducă o ecuație care să reprezinte cît mai bine toate tipurile de izoterme [5], [6].

Ei păstrează întrucîtva modelul lui Langmuir (suprafața solidului este uniform energetic pe toate fețele, adsorbția are loc pe regiuni de pe suprafață, adsorbatul e în strat monomolecular) și extind fenomenele din primul strat monomolecular la un număr infinit de straturi, pe care ei le iau în plus față de Langmuir.

Astfel de la ecuația lui Langmuir, în forma

$$\frac{p}{x} = \frac{1}{B \cdot x_m} + \frac{p}{x_m} \tag{4}$$

în care :

x este adsorbția în grame pe gram de adsorbant la presiunea p,
$x_m$ — capacitatea monostratului,
p — presiunea de lucru,
B — constantă care depinde de natura și de starea adsorbantului,

se ajunge la ecuația BET

$$\frac{p}{x(p_0-p)} = \frac{1}{x_m C} + \frac{C-1}{x_m C} \cdot \frac{p}{p_0}, \tag{5}$$

în care semnificațiile simbolurilor ce intervin în plus față de ecuația (4) sînt :

$p_0$ — presiunea de vapori a gazului lichefiat (vapori saturați),
C — o constantă ce depinde de diferența dintre căldura de lichefacere și căldura de adsorbție a gazului.

Trasarea experimentală a funcției $\frac{p}{x(p_0-p)} = f\left(\frac{p}{p_0}\right)$ în domeniul limitat $0{,}05 \leqslant p/p_0 \leqslant 0{,}35$ reproduce destul de bine alura izotermei de tipul II (cel mai frecvent tip) și permite determinarea lui $x_m$. O dată ce $x_m$ a fost determinat, pentru calculul suprafeței specifice trebuie introdus în relația

$$S = \frac{x_m}{M} \cdot N \cdot A_m, \tag{6}$$

în care :

M este greutatea moleculară a adsorbatului,
N — numărul lui Avogadro,
$A_m$ — aria moleculară a adsorbatului.

Pentru calculul ariei moleculare $A_m$, adică a suprafeței ocupate de o moleculă de substanță adsorbită, Emmet și Brunauer [2], [5] dau următoarea formulă :

$$A_m = 1{,}091 \left(\frac{M}{\rho N}\right)^{2/3} \tag{7}$$

în care :

$\rho$ este densitatea în stare lichidă a adsorbatului,

1,091 — o constată care include ipoteza că numărul de coordinare al unei molecule din stratul adsorbit este egal cu 12.

Pentru substanța adsorbită cel mai mult utilizată, azotul lichid la —195,8 °C, formula (7) dă $A_m = 16{,}2\ Å^2$ valoare aproape unanim considerată ca foarte reală [2], [4], [5], [7], [8].

Teoria BET în deducerea ecuației izotermei de adsorbție (5) are o serie de neajunsuri, reliefate bine de o serie de cercetători și pornite de la faptul că domeniul $p/p_0$ este limitat pentru ca ecuația (5) să reprezinte bine o izotermă experimentală. Metoda BET este considerată totuși cea mai precisă.

Experimental se determină adsorbția x la diferite presiuni p din domeniul $0{,}05 \leqslant p/p_0 \leqslant 0{,}35$. Se lucrează de obicei cu azot lichid la —195,8 °C, în instalații de diferite tipuri date în literatură.

Determinarea lui x se poate face gravimetric, folosind o balanță de tip Mc Baine — Bakr sau de tip Greeg, care sînt de fapt tipuri clasice de balanțe. O microbalanță extrem de sensibilă a fost făcută de Rhodin, cu o sensibilitate de $\pm 20\%$ la $10^{-7}$ g [5]. Determinarea cea mai utilizată, a lui x se bazează pe variația volumului de gaz introdus pentru adsorbție și a presiunii lui.

b) *Metoda Harkins și Jura* [2], [7]. Metoda Harkins și Jura face parte din grupul teoriilor termodinamice în care se ia în considerație interfața solid — adsorbat și variația energiei libere a suprafeței solidului, presupunîndu-se că ecuația ei de stare poate fi valabilă și pentru membrana de gaz adsorbit.

De aci se ajunge la ecuația următoare a izotermei :

$$\ln \frac{p}{p_0} = D - \frac{C}{x^2} \tag{8}$$

în care

$$C = \frac{qM^2S^2}{2NRT} \tag{9}$$

și

$$D = \ln \frac{p_1}{p_0} + \frac{qM^2S^2}{2NRTx^2} \qquad (10)$$

unde :

p corespunde începutului stării de condensare,
q — constantă pentru un adsorbat pe diferiți adsorbanți,
R — constanta gazelor,
T — temperatura absolută.

Harkins și Jura au adaptat ecuația (8) la calculul suprafeței specifice S a adsorbantului. Astfel, trasînd experimental $\log \frac{p}{po}$ funcție de $\frac{1}{x^2}$, se obține o dreaptă cu panta 0,4343 C, de unde se scoate valoarea lui C. Din ecuația (9) avem

$$S = \frac{1}{M}\left(\frac{2NRT}{q}\right)^{1/2} C^{1/2} = kC^{1/2} \qquad (11)$$

unde k este o constantă pentru un anumit adsorbat la o temperatură dată.

Valorile lui k pentru diferiți adsorbați au fost stabilite de Harkins și Jura. Astfel pentru azot lichid la —195,8 °C k este egal cu 4,06, iar pentru apă la 25 °C k=3,83.

Harkins și Jura au pus la punct o metodă absolută pentru determinarea suprafeței [2], [7] unei pulberi fine bazată pe determinarea căldurii de imersiune a pulberii acoperită cu o membrană de vapori saturați în lichidul din care provine membrana. Pentru aceasta ei folosesc un calorimetru foarte sensibil.

## 2. Metode bazate pe adsorbția lichidelor

a) *Metoda Payne* [3]. Este o metodă aproximativă și se bazează pe variația conținutului de umiditate V al unei pulberi umede din care se extrage apa cu presiunea de sugere h. Energia consumată pentru extragerea apei de pe solid într-un proces izoterm este egală cu creșterea energiei libere de suprafață a lichidului (apa). De aici creșterea suprafeței apei este dată de relația

$$\Delta A = \frac{1}{\gamma}\int h dv, \qquad (12)$$

unde $\gamma$ este tensiunea superficială a apei.

Metoda a fost îmbunătățită de către Ringqvist care dă o relație mai cuprinzătoare și un alt aparat (4).

b) *Metoda adsorbției soluțiilor din soluții* [5], [10]. Este o metodă mai puțin răspîndită și se bazează pe faptul că, într-o soluție de doi componenți perfect miscibili, adsorbția componenților se face preferențial.

În acest fel se determină adsorbția la diferite concentrații prin determinarea concentrației reziduale a componentului adsorbit. Mulți cercetători folosesc coloranți în soluții urmărindu-le adsorbția colorimetric, iar în prezent în Franța se fac cercetările inițiate de către Paneth, utilizînd adsorbția unei substanțe radioactive [4].

În Polonia, Grezelewski ș. a., au pus la punct o metodă pentru determinarea suprafeței catalizatorilor bazată tot pe adsorbția soluțiilor din soluții [10].

În ultimii ani a căpătat multă atenție o metodă bazată pe determinarea căldurii de imersiune (udare) [5]. Metoda este însă aplicabilă numai la pulberi foarte fine, cu suprafață mai mare de cîțiva metri pătrați pe gram, pentru a detecta ușor și precis căldura de udare. Ea nu permite totuși determinarea exactă a suprafeței specifice și, dacă este folosită, e numai pentru determinări comparative.

### 3. Metode optice [7]

Sînt larg utilizate și se bazează pe puterea de obscurare sau de polarizare a luminii de către particule în suspensie în soluții. Ele nu permit determinarea exactă a suprafeței pulberilor, deoarece sînt afectate de o serie de erori date de proprietățile optice ale materialelor ca adsorbție, birefringență, refracție, culoare, reflectivitate etc., a căror influență nu este precis determinată.

#### a) *Metoda turbidimetrului lui Wagner [7]*

Este metoda de bază din domeniul metodelor optice, celelalte metode fiind de fapt variante ale acesteia.

Metoda, în esență, constă din măsurarea slăbirii intensității unui fascicul luminos la trecerea printr-o suspensie de particule în sedimentare, a căror suprafață vrem s-o măsurăm. Wagner a stabilit că avem relația

$$S_d = c\,(\log I_0 - \log I_d) \qquad (13)$$

în care:

$S_d$ este suprafața particulelor nesedimentate cu diametrul d,
c — o constantă pentru materialul studiat,
$I_0$ — intensitatea luminii incidente,
$I_d$ — intensitatea luminii transmise.

$I_0$ este dat de către o lampă care se face astfel ca $I_0 = 100$, iar $I_d$ se măsoară cu o celulă fotoelectrică și în acest fel formula (13) devine

$$S_d = c(2 - \log I_d). \tag{14}$$

Pentru că sedimentarea unei pulberi poate dura mult și de asemenea durata obținerii curbei de sedimentare ar fi mare, se folosesc probe standard pentru comparare, iar pentru calcul expresia :

$$\frac{S_d \text{ (probă necunoscută)}}{S_d \text{(probă cunoscută)}} = \frac{2 - \log I_d \text{ (necunoscută)}}{2 - \log I_d \text{ (cunoscută)}} \tag{15}$$

în care $c$ s-a considerat același pentru ambele probe.

Folosirea probelor standard limitează posibilitățile de aplicabilitate la materiale diferite, deci metoda nu poate fi absolută în nici un sens.

## 4. Metoda permeabilității

Metoda permeabilității ne oferă cea mai rapidă posibilitate de estimare a suprafețelor specifice. Ea găsește o largă aplicabilitate în lucrări de serie, de laborator sau de uzină pentru determinări comparative.

Baza teoretică și experimentală a metodei se află în lucrările lui Kozeny și Carman, Lea și Nurse ș. a. [1], în domeniul curgerii fluidelor prin medii poroase sau straturi tasate de materiale pulverulente.

Pe principiul permeabilității mediilor la fluide se bazează o serie de scheme de măsurare a suprafeței specifice, care nu diferă prea mult între ele, schema de bază fiind aceea cu celulă de permeabilitate tip Lea și Nurse, celelalte fiind de fapt variante perfecționate ale acesteia în anumite scopuri.

Întrucît în cadrul laboratorului nostru am determinat suprafețele specifice prin această metodă, dezvoltăm în continuare, mai pe larg ca la celelalte metode arătate înainte, raționamentele și deducerea formulelor de calcul.

S-a arătat de către Darcy [1], [5] că debitul unui fluid în curgere printr-un strat permeabil de material este dat de relația

$$Q = K_1 A \cdot \frac{\Delta p}{L} \tag{16}$$

în care :

$K_1$ este o constantă ce definește permeabilitatea stratului,
$A$ — aria secțiunii stratului perpendiculară pe direcția curgerii,
$\Delta p$ — diferența de presiune între cele două fețe ale stratului,
$L$ — grosimea stratului.

La curgerea prin canale înguste, viscozitatea fluidului ($\eta$) trebuie luată în considerație, și atunci, conform legii lui Poisseuille, ecuația (16) devine

$$Q = K \cdot \frac{A}{L} \frac{\Delta p}{\eta}. \tag{17}$$

Pentru un capilar de secțiune circulară avînd raza r și lungimea L , ecuația debitului de fluid în curgere, conform legii lui Poisseuille, este

$$Q = \frac{\pi}{8\eta} \frac{\Delta p}{L_c} r^4, \tag{18}$$

de unde viteza $u_c$ a curentului de fluid prin capilar va fi

$$u_c = \frac{Q}{\pi r^2} = \frac{\Delta p}{L_c} \cdot \frac{r^2}{8\eta} \tag{19}$$

Un strat de particule permeabil este asemuit unui mănunchi de capilare necirculare de o formă complicată și, în loc de raza capilarului r, se ia în considerație o rază medie hidraulică, dată de raportul

$$r_m = k_s \frac{\text{volumul fluidului în pori (vol. porilor)}}{\text{aria suprafeței canalelor}}, \tag{20}$$

în care $k_s$ este o constantă de formă, dependentă de forma secțiunii canalelor, care pentru canale de secțiune circulară are valoarea 2.

Dacă stratul de particule are porozitatea $\varepsilon$, aceeași în orice punct din strat și volumul V, volumul porilor va fi $\varepsilon V$ iar volumul materialului solid $(1-\varepsilon)V$ și masa sa $(1-\varepsilon)V\rho$. Dacă notăm cu $S_E$ suprafața externă a unui gram de material, suprafața totală a materialului va fi $S_E V(1-\varepsilon)\rho$.

Acum raza medie hidraulică se poate scrie

$$r_m = k_s \frac{\varepsilon V}{(1-\varepsilon) V \cdot \rho S_E} = k_s \frac{\varepsilon}{(1-\varepsilon)\rho S_E}. \tag{21}$$

Înlocuind acum pe (21) în (19), viteza de curgere a fluidului va fi :

$$u_c = k_s^2 \frac{\Delta p}{L_c} \cdot \frac{\varepsilon^2}{8\eta (1-\varepsilon)^2 \rho^2 S_E^2}. \tag{22}$$

Dar capilarele nu sînt drepte, ci extrem de întortocheate, astfel că lungimea reală a unui astfel de capilar $L_e$ va fi mai mare ca grosimea stratului L și, prin urmare, viteza reală a fluidului prin canale va fi mai mare ca viteza aparentă u în raportul $L_e/L$ ; pe de altă parte, secțiunea totală a canalelor este mai mică decît A în raportul $\varepsilon/1$ și deci viteza reală a fluidului trebuie să fie mai mare ca cea aparentă u în raportul $1/\varepsilon$. Pe baza acestor raționamente putem scrie deci că

$$\frac{u_c}{u} = \frac{L_e}{L} \cdot \frac{1}{\varepsilon} \tag{23}$$

sau

$$u = u_c \frac{L}{L_e} \cdot \frac{\varepsilon}{1} = u_c \frac{\varepsilon L}{L_e} \cdot \tag{24}$$

Înlocuind pe (22) în (24), avem

$$u = \frac{L}{L_e} \cdot \frac{\Delta p}{L_e} \cdot \frac{\varepsilon^3 k_s^2}{8\eta (1-\varepsilon)^2 \rho^2 S_E^2} \tag{25}$$

sau

$$u = \frac{k_s^2}{8\eta} \left( \frac{L}{L_e} \right)^2 \frac{\varepsilon^3}{(1-\varepsilon)^2 \rho^2 S_E^2} \cdot \frac{\Delta p}{L} \cdot \tag{26}$$

Kozeny notează

$$\frac{8}{k_s^2} \cdot \frac{L_e^2}{L^2} = k \tag{27}$$

constantă care a căpătat denumirea de constanta lui Kozeny și care, după cît se vede, introduce efectul formei secțiunii canalelor precum și efectul sinuozității lor. Constanta lui Kozeny a fost determinată experimental de Carman și verificată de alții ca avînd valoarea $5 \pm 10\%$ la o porozitate a stratului de $\leqslant 0{,}50$.

Acum ecuația (26) devine

$$u = \frac{1}{k\eta} \cdot \frac{\varepsilon^3}{(1-\varepsilon)^2} \cdot \frac{\Delta p}{L \rho^2 S_E^2} \cdot \tag{28}$$

Ecuația (28) este ecuația lui Kozeny și Carman pentru curgerea vîscoasă a unui fluid printr-un strat poros de material cu porozitatea $\varepsilon$ și grosimea L. După cum se vede, porozitatea influențează viteza curgerii prin raportul $\varepsilon^3/(1-\varepsilon)^2$, expresie cunoscută sub denumirea de funcție de porozitate a lui Kozeny. Debitul de fluid care străbate stratul de material de secțiune A este dat de relația

$$Q = uA, \tag{29}$$

de unde

$$u = \frac{Q}{A} \cdot \tag{30}$$

Din ultima relație putem scoate suprafața specifică $S_E$ făcînd și înlocuirile cu ecuațiile precedente:

$$S_E^2 = \frac{1}{k\eta} \cdot \frac{\varepsilon^3}{(1-\varepsilon)^2} \cdot \frac{A}{Q\rho^2} \cdot \frac{\Delta p}{L}, \tag{31}$$

adică

$$S_E = \frac{1}{\rho(1-\varepsilon)} \sqrt{\frac{\varepsilon^3 A \Delta p}{k\eta QL}}. \tag{32}$$

Dacă măsurăm diferența de presiune cu un manometru cu lichid, atunci $\Delta p = \rho_1 \cdot g \cdot h_{man}$, unde $\rho_1$ densitatea lichidului manometric și $h_m$ diferența de nivel a celor două coloane. Dacă măsurăm debitul de fluid cu un fluometru cu rezistență capilară cu constanta C, folosind în fluometru același lichid, debitul de fluid va fi

$$Q = C \frac{h_{fl} \rho_1}{\eta}, \tag{33}$$

unde $h_{fl}$ este diferența de nivel a coloanelor fluometrului.

Acum ecuația (32) după rearanjări devine

$$S_E = \frac{\sqrt{\frac{g}{k}}}{\rho(1-\varepsilon)} \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon^3 A h_{man}}{L \cdot C \cdot h_{fL}}}. \tag{34}$$

Ecuația (34) mai poate fi simplificată ca formă și ne permite să calculăm suprafața specifică a unui material. Raționamentele prin care a fost dedusă sînt valabile fie că fluidul în curgere e lichid, fie că e gaz.

Experiențele arată că folosirea ca agent de curgere a unui lichid chiar cu viscozitate mică, ne permite determinarea suprafețelor pînă la valori de circa 1 000 $cm^2$, adică pentru particule cu un diametru mediu în jur de 100 $\mu$. Pentru particule mai fine cu suprafață specifică mai mare, trebuie ca fluidul în curgere să fie un gaz, și acesta, aproape în exclusivitate, e aerul.

Folosirea unui gaz impune cunoașterea exactă a condițiilor de lucru, adică ce fel de curgere are loc în stratul de material, vîscoasă, nevîscoasă sau Knudsen, pentru ca să putem face eventualele corecții la ecuația Kozeny-Carman (34), dedusă, după cum am văzut, pentru curgeri pur vîscoase.

Curgerea nevîscoasă (lunecătoare) are loc cînd presiunea gazului duce la un parcurs liber mijlociu al moleculelor gazului de ordinul de mărime a cîtorva fracțiuni din raza capilarului.

Curgerea Knudsen are loc cînd presiunea fiind și mai mică, parcursul liber mijlociu al moleculelor gazului depășește diametrul capilarului.

În acest domeniu, lucrările lui Kundt și Warburg, Maxwell și Smoluchowski, Hiby și Pahl și în special Adzumi pentru medii poroase neconso-

lidate au condus pe Carman și Arnell la o ecuație Kozeny-Carman modificată, care pentru permeabilitatea stratului are forma

$$K = \frac{\varepsilon^3}{(1-\varepsilon)^2} \cdot \frac{\bar{p}}{5\eta S_E^2} + \frac{0{,}6\varepsilon^2}{(1-\varepsilon) S_E} \bar{v}, \tag{35}$$

unde $\bar{p}$ este presiunea medie $= \frac{1}{2}(p_1 + p_2)$, iar $\bar{v}$ este agitația medie termică moleculară dată de ecuația

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}.$$

Ecuația (35) poate fi scrisă sub altă formă mai simplă pentru ușurarea determinării :

$$K = \frac{u_1 p_1 L}{\Delta p}, \tag{36}$$

în care :

$u_1$ este viteza liniară aparentă a gazului la presiunea p,
$\Delta p$ — căderea de presiune în lungul stratului cu grosimea L,
$p_1$ — corespunde, pentru un aparat Lea și Nurse, cu presiunea atmosferică.

Înlocuind pe $u_1$ cu $Q_1/A$, avem

$$K = \frac{Q_1}{A} \cdot \frac{p_1 L}{\Delta p} \tag{37}$$

și dacă, ca mai înainte

$$\left.\begin{aligned} \Delta p &= \rho_1 \cdot g \cdot h_{man} \\ Q_1 &= C \frac{h_{f1} \cdot \rho_1}{\eta} \end{aligned}\right\}, \tag{38}$$

atunci

$$K = \frac{L p_1}{A \cdot \eta} \cdot \frac{D \cdot h_{f1}}{g h_{man}}. \tag{39}$$

Cu ecuația (39) trecem la rezolvarea ecuației (35), lucru obligatoriu dacă dimensiunea particulelor din strat este sub 5 μ.

Rezolvarea se face în modul următor :

1) neglijăm termenul care ține cont de alunecare și calculăm pe $S_k$

$$S_k^2 = \frac{\varepsilon^3}{(1-\varepsilon)^2} \cdot \frac{\bar{p}}{5\eta K} \tag{40}$$

care pentru curgerea pur vîscoasă se calculează cu ecuația nemodificată a lui Kozeny-Carman (34), adică $S_k = S_E$.

2) neglijăm termenul pentru curgerea vîscoasă și calculăm $S_M$.

$$S_M = 0{,}6 \frac{\varepsilon^2}{(1-\varepsilon)} \cdot \frac{\overline{v}}{K}; \tag{41}$$

3) introducînd (40) și (41) în (35) și simplificînd cu K, avem

$$1 = \frac{S_k^2}{S_E^2} + \frac{S_M}{S_E} \tag{42}$$

din care rezultă

$$S_E = \frac{S_M}{2} + \sqrt{\frac{S_M^2}{4} + S_k^2}. \tag{43}$$

Dar se pot face următoarele aproximații:

— dacă $S_k/S_M > 2$:

$$S_E \simeq S_k + \frac{S_M}{2} \tag{44}$$

— dacă $S_k/S_M < \frac{1}{2}$:

$$S_E \simeq S_M + \frac{S_k^2}{S_M}. \tag{45}$$

Pentru determinarea permeabilității comprimatelor și a straturilor de pulbere se folosește ecuația

$$B_0 = \frac{L}{A} \cdot \frac{C}{g} \cdot \frac{h_{fl}}{h_{man}}, \tag{46}$$

ale cărei simboluri sînt adaptate pentru folosirea aceleiași scheme de aparat.

Schema aparatului se dă în *figura 1*.

Modul de lucru este destul de simplu și constă în introducerea unei cantități determinate de pulbere în celulă și apoi presarea ei pînă cînd stratul atinge o porozitate în jur de 0,50, de preferat puțin mai mică. Se racordează celula la instalație și se măsoară denivelarea manometrului și a fluometrului la trecerea aerului prin material. Trebuie măsurată precis grosimea stratului. Lucrînd cu același material în determinări de serie, ecuația (34) poate fi adusă la forma

$$S_E = k_t \sqrt{\frac{h_{man}}{h_{fl}}}, \tag{47}$$

ceea ce dă metodei un plus de rapiditate.

Pînă să vedem rezultatele măsurătorilor din laboratorul nostru prin această metodă, trebuie să arătăm că ecuația Kozeny-Carman pe care o folosim suferă de anumite îngrădiri, și anume :

— porozitatea stratului trebuie să fie foarte apropiată de valoarea 0,5, deoarece s-a observat că „constanta" lui Kozeny variază cu porozitatea, crescînd o dată cu ea.

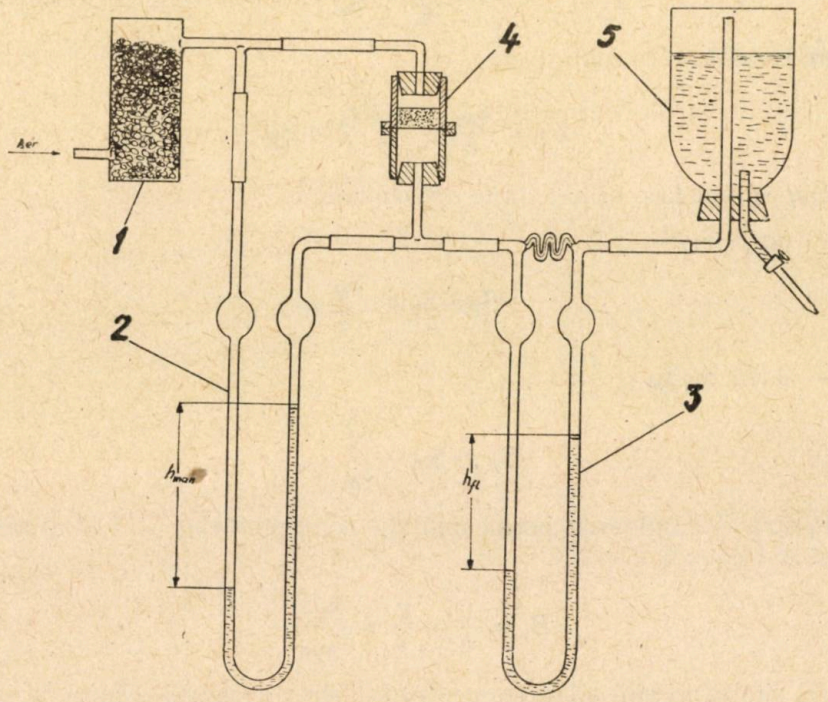



*Fig. 1.* Schema aparatului pentru metoda de permeabilitate la aer :
1 — vas pentru uscarea aerului; 2 — manometru cu lichid; 3 — fluometru; 4 — celula pentru materialul de măsurat; 5 — vas pentru aspirarea aerului.

— orientarea particulelor în strat trebuie să fie complet întîmplătoare și să nu existe locuri cu orientare preferențială a particulelor, altfel constanta lui Kozeny și funcția de porozitate nu mai sînt valabile ;

— așa cum afirmă Carman [1], ecuația lui Kozeny este bună pentru straturi uniform tasate neconsolidate de particule, nu și la măsurarea suprafeței interne a mediilor poroase consolidate.

Carman, comparînd metoda permeabilității la aer cu alte două metode de măsurare directă a suprafeței specifice, arată că :

1) metoda absorbției de lumină, simplă ca mod de lucru și folosind instrumente sensibile, nu poate fi acceptată ca o metodă cantitativă, ci ca o încercare calitativă pentru controlul curent ;

2) metoda BET — adsorbție de azot la temperaturi joase — este probabil cea mai precisă metodă pentru măsurat suprafața specifică, *rezultatele fiind mai bune în special pentru particule submicronice.*

Un avantaj al metodei BET ar fi acela că nu e influențată de textura porilor, în timp ce metoda permeabilității cere o textură poroasă uniformă și suficient de întîmplătoare ;

*a*) metoda permeabilității nu cere uniformitate în dimensiunea particulelor, dar o distribuție prea largă a acesteia trebuie evitată și separarea într-o fracție grobă și una fină este recomandată, metoda adsorbției nu cere așa ceva.

*b*) Metoda permeabilității cere o îndesare atentă și un strat uniform, lucru care se obține ușor cu particule peste 5 μ, așa că pentru particule peste 5 μ metoda permeabilității conduce la rezultate mai bune și este de preferat metodei de adsorbție pentru determinări curente. Pentru particule sub 5 μ, aglomerarea datorită forțelor superficiale devine un factor de importanță mărită și el poate fi totuși întrucîtva diminuat, obținînd porozități cu ceva sub 0,5, dar chiar și atunci metoda permeabilității dă rezultate cu ceva mai mici ca adsorbția de azot ;

*c*) metoda adsorbției măsoară suprafața totală accesibilă, pe cînd metoda permeabilității măsoară suprafața scăldată de gazul în curgere, ea neputînd include suprafața datorată rugozităților suprafeței și porilor închiși (pungi).

Ca aparatură și ca mod de lucru, metoda permeabilității este mult mai simplă și mai rapidă.

Pentru compararea cantitativă a rezultatelor obținute prin metoda permeabilității dau cîteva tabele cu valori.

După cum se vede, cu o mică excepție, suprafața de permeabilitate a fost între 70 și 100% din suprafața de adsorbție, și aceasta s-a datorat :

— neuniformității dată de aglomerate,
— suprafeței date de porozitatea internă și de rugozitatea particulelor,
— erorilor în metoda BET.

In cazul cărbunelui negru Monarch 71, s-a știut, de exemplu, din alte surse că are porozitate internă. Ca mărime, particulele au fost, pentru ultima pulbere cu suprafața de 2 000 $m^2/cm^3$ de circa 30 Å.

In privința rezultatelor obținute cu aparatul executat în laboratorul nostru, în lipsa unor materiale cu suprafața specifică determinată prin metoda de adsorbție, am folosit pentru verificare material cu suprafața cunoscută din geometria sa. Este vorba de sîrmă de cromnichel de trei grosimi: $\phi = 0{,}03$ mm, $\phi = 0{,}05$ mm și $\phi = 0{,}1$ mm pe care le-am folosit separat, și un amestec de sîrmă de $\phi = 0{,}03$ mm și 0,05 mm. Deși ca mărime a „particulei“

*Tabela 1*

**Suprafața specifică prin adsorbție de azot și prin permeabilitate la aer (după Carman și Malherbe [1]).**

| Pulberea | Porozitate ε | Suprafața specif. în m²/cm³ | |
|---|---|---|---|
| | | Prin permeabilitate | BET |
| Kieselgur alb | 0,496 | 4,4 | 4,3 |
| Pigment de crom oranj | 0,474 | 6,1 | 8,9 |
| Pigment alb stabil | 0,479 | 11,2 | 16,4 |
| —$Al_2O_3$ pulbere polis | 0,475 | 16,6 | 16,5 |
| ZnO pigment | 0,478 | 14,9 | 18,1 |
| Pigment de crom galben | 0,505 | 22,6 | 19,0 |
| Kaolin | 0,453 | 29,7 | 29,8 |
| ZnO pur | 0,370 | 25,9 | 34,2 |
| Oxid feric pigment | 0,394 | 33,0 | 34,2 |
| $TiO_2$ | 0,372 | 38,2 | 44,1 |
| Cărbune negru, Sterling S | 0,429 | 32,3 | 46,2 |
| Pigment verde de crom | 0,470 | 35,4 | 51,8 |
| Cărbune negru sterling So | 0,546 | 57,3 | 79,5 |
| $Al_2O_3$ pulbere polis | 0,470 | 237 | 274 |
| Cărbune negru Monarch 71 | 0,517 | 226 | 698 |
| Cărbune negru carbolac 1 | 0,530 | 1 700 (heliu) | 2 020 |

sînt în domeniul în care metoda permeabilității dă rezultatele cele mai bune; după cum se vede din tabela de mai jos, rezultatele experimentale diferă de cele calculate geometric, deși nu prea mult. Faptul că la determinările pe probe dintr-un singur fel de sîrmă suprafața a ieșit ceva mai mare pare a fi normal, pentru că suprafața geometrică nu include și eventualele

*Tabela 2*

**Valori comparative ale suprafeței specifice obținută prin trei metode (după Carman, Malherbe, Arnell și Henneberry [1]).**

| Pulbere | Porozitate ε | Suprafața în m²/cm³ | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Permeab. | Microsc. electronic | BET |
| Kosmos 20 | 0,554 | 50 | 47 | 41 |
| Kosmos 40 | 0,584 | 74 | 72 | 78 |
| Shawining 100% | 0,729 | 57 | 78 | 94 |
| Statex B | 0,601 | 104 | 72 | 99 |
| Statex A | 0,603 | 104 | 86 | 136 |
| Kosmobile 77 | 0,638 | 156 | 161 | 193 |
| Dixied HM | 0,696 | 164 | 165 | 228 |
| Kosmobile S | 0,653 | 175 | 162 | 277 |
| Speron 9 | 0,676 | 179 | 144 | 223 |
| Neo-Spektra Mk II | 0,823 | 309 | 259 | 1 410 |
| Cărbune negru Witco No | 0,500 | 171 | 169 | 245 |
| $CaCO_3$ Witcarb R | 0,373 | 85 | 85 | 65 |
| $CaCO_3$ Witcarb R 12 | 0,43 | 20,1 | 35 | 23,4 |

asperități ale suprafeței sîrmei ; pe de altă parte, secțiunea sîrmei este variabilă pe lungimea mare a ei.

*Tabela 3*

**Suprafața specifică a sulfatului de bariu în $m^2/g$ prin diferite metode (după Jopling [1])**

| Proba | Sedimentare | Metode absorbție de lumină | | Adsorbție de coloranți | Permeabilitate aer=0,375 |
|---|---|---|---|---|---|
| A | 0,9 | 1 | 1,5 | 1,0 | 0,9 |
| B | 1,9 | 2 | 2,8 | 2,1 | 2,1 |
| C | 2,5 | 2,2 | 2,9 | 3,7 | 3,2 |
| E | 2,9 | 2,8 | 3,2 | 2,3 | 2,1 |
| F | 4,2 | 2,2 | 2,6 | 3,8 | 3,8 |
| G | 4,8 | 1,3 | 1,7 | 7,6 | 6,1 |

Suprafața mai mică experimental la proba din amestec de sîrmă decît cea calculată geometric s-ar datora neuniformității amestecului atît ca distribuție a „particulelor", cît și ca porozitate, ca și eventualei orientări preferențiale.

*Tabela 4*

**Rezultatele măsurătorilor pe sîrmă de cromnichel**

| Diametrul sîrmei mm | Porozitatea stratului | Supra. specif. geometric $cm^2/g$ | Supraf. specif. măsurată $cm^2/g$ | Eroarea |
|---|---|---|---|---|
| 0,10 | 0,386 | 49 | 56 | +14,2 |
| 0,10 | 0,438 | 49 | 54,85 | +11,94 |
| 0,10 | 0,512 | 49 | 50 | +2,1 |
| 0,05 | 0,429 | 97 | 99,4 | +2,5 |
| 0,03+0,05 28,6% 71,4% | 0,448 | 116 | 109,2 | −3,5 |

S-au făcut de asemenea măsurători pe diferite pulberi de aluminiu, oxid de uraniu și ciment. Pentru pulberile de oxid de uraniu, valorile găsite s-au apropiat foarte mult de cele relatate în literatură [11], pulberile avînd cam același diametru mediu de particulă.

Rezultatele pentru pulberile de aluminiu nu pot fi comentate prea mult ; ele au corespuns cu anumite aproximații valorilor date de măsurători la microscopul optic.

Tot cu aparatul din laborator, înlocuind celula de permeabilitate cu un dispozitiv adecvat pentru introducerea unor corpuri presate și sinterizate din pulberi, s-a determinat permeabilitatea la aer a unor piese cilindrice cu înălțime mică din alumină presată și sinterizate, avînd porozitate diferită. Rezultatele se dau în tabela următoare.

Porozitatea totală a probelor a fost determinată din greutate, volum şi densitate, şi deci, pe lîngă porozitatea care determină permeabilitatea probei, ea include şi porozitatea izolată, închisă.

*Tabela 5*

| Proba | Porozitatea totală | Permeabilitate (unităţi CGS) |
|---|---|---|
| 1 | 0,332 | $9,5 \cdot 10^{-10}$ |
| 2 | 0,332 | $6,92 \cdot 10^{-10}$ |
| 3 | 0,175 | $2,195 \cdot 10^{-10}$ |
| 4 | 0,130 | $0,1015 \cdot 10^{-10}$ |
| 5 | 0,1187 | $0,1403 \cdot 10^{-10}$ |
| 6 | 0,1179 | $0,0655 \cdot 10^{-10}$ |

## CONCLUZII

Lucrarea prezentă se ocupă de metodele pentru determinarea suprafeţei pulberilor, tratînd mai pe larg metoda de determinare a suprafeţei specifice prin permeabilitate la aer şi sumar celelalte metode. În lucrare se arată avantajele şi dezavantajele metodelor tratate, precum şi domeniul de mărime al granulaţiei pulberii sau al valorii suprafeţei specifice în care diferitele metode pot fi aplicate cu rezultatele cele mai bune.

Lucrarea mai cuprinde, legat de măsurarea suprafeţei prin permeabilitate la aer, determinarea permeabilităţii la aer a corpurilor presate şi sinterizate din pulberi. De asemenea se indică schema aparatului folosit de autor în determinările curente de laborator.

## BIBLIOGRAFIE

1. P. C. Carman (1956): *Flow of gases trough porous media,* London, Butteworth.
2. W. Harkins, G. Jura (1944): *J. Am. Chem. Soc.,* 66, *8.* a) 1362-6, b) 1366-73.
3. D. Payne (1953): *Nature,* 172, *4371,* 261—2.
4. Robert L'Hermité (1959): *Méthodes générales d'essai et de control en laboratoire* — Paris.
5. J. S. Gregg (1961): *The surface chemistry of solids,* London.
6. Tibor Erdely Grüz, Géza Schay (1958): *Chimie fizică teoretică,* vol. II, Ed. tehnică, Bucureşti.
7. Glyde Orr fr, M. J. Dalla Valle (1959): *Fine particles measurement size surface and Pore Volume.* The Macmillan Company — New York.
8. G. Cl. Goetzel şi a. (1949): *Treatise on powder metallurgy, vol.* 1, London.
9. E. Lăbuşcă (1957): *Metalurgia pulberilor* — Ed. Academiei R.S. Romania, Bucureşti.
10. Grzelewski, Leszek (1961): *Przem. Chem.,* R.P.R., 40, *12,* dec.
11. T. Smith (1960): *Measurement of surface are of $UO_2$ powder and pelets.* NAA-SR-5319.
12. L. E. Gooden, M. G. Smith (1940): *Ind. Eug. Chem.* Anal. Ed., 12, 479—82.

*Manuscris primit în octombrie, 1966*

# CONSIDERAȚII PRIVIND PROCESELE FIZICO-CHIMICE LA ÎNCĂLZIREA OȚELURILOR ÎN ATMOSFERĂ CONTROLATĂ

SANDA OPREA

*Institutul politehnic, București*

In cadrul lucrării se studiază procesele fizico-chimice și echilibrul termodinamic al principalelor reacții chimice care au loc în timpul încălzirii între materialul metalic și atmosfera endotermă $CO$-$H_2$-$H_2O$. Se arată că potențialul de carbon al atmosferei de gaz endoterm pentru un anumit oțel și o temperatură dată este condiționat de schimbarea raportului dintre componenții de carburare ($CO$, $CH_4$ etc.) și cei de decarburare ($CO_2$, $H_2$, $H_2O$) din compoziția atmosferei.

Încercările experimentale efectuate au permis să se stabilească valorile optime ale punctului de rouă pentru oțelurile cu conținut mediu și ridicat de carbon și pentru oțelurile de construcție. Respectarea valorilor stabilite pentru punctul de rouă în condițiile industriale, contribuie la preîntîmpinarea decarburării oțelurilor de construcție în timpul tratamentelor termice.

Utilizarea atmosferelor controlate în vederea tratamentelor termice a cunoscut în ultimii ani o dezvoltare continuă. Căile multiple de preparare a gazelor de protecție și folosirea acestora în operațiile de încălzire a permis îmbunătățirea tratamentelor termice efectuate în atmosfere controlate. Cunoașterea proceselor fizico-chimice care pot avea loc în timpul încălzirii între metal și atmosfera de gaz endoterm, ajută la obținerea unor rezultate optime în timpul tratamentelor termice.

Atmosfera de gaz endoterm este în general compusă din gaze reducătoare ($CO$, $H_2$, $CH_4$) cantități neînsemnate de gaze cu caracter oxidant ($CO_2$, $H_2O_{vap'}$) și gaz neutru — $N_2$. Potențialul de carbon al atmosferei de gaz endoterm pentru un anumit oțel și o temperatură dată este condiționat de schimbarea raportului dintre componenții de carburare ($CO$, $CH_4$) și cei de decarburare ($CO_2$, $H_2$, $H_2O$) din compoziția atmosferei.

La obținerea atmosferelor de gaz endoterm prin arderea metanului, reacțiile principale ce au loc în retorta generatorului sînt de forma :

$$\begin{array}{l} CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O \\ CH_4 + CO_2 = 2CO + 2H_2 \\ 2CH_4 + 2H_2O = 2CO + 6H_2 \\ \hline 4CH_4 + 2O_2 = 4CO + 8H_2 \end{array}$$

Respectiv :

$$CH_4 + \tfrac{1}{2}O_2 = CO + 2H_2$$

În condițiile industriale pentru obținerea unor rezultate bune, compoziția optimă a atmosferei de protecție se poate regla prin variația temperaturii, a duratei de menținere și prin variația vitezei de răcire.

Conținutul de $H_2O$ din atmosfera de gaz endoterm, la o anumită temperatură depinde de echilibrul reacției :

$$H_2O + CO \rightleftharpoons H_2 + CO_2$$

Pe baza studiului echilibrului acestei reacții se poate remarca faptul că cu cît atmosfera va fi mai diluată cu azot, cu atît ea va avea în compoziția sa mai puțin $CH_4$, $CO_2$ și $H_2O$.

Acțiunea decarburantă a vaporilor de apă asupra oțelului se poate reprezenta pe baza reacției :

$$C_{(Fe)} + H_2O \rightleftharpoons CO + H_2 \qquad (1)$$

$$K_1 = \frac{P_{CO} \cdot P_{H_2}}{P_{H_2O} \cdot A_{C_{(Fe)}}}$$

unde : $A_{C_{(Fe)}}$ — activitatea carbonului dizolvat în austenită ; cînd austenita este saturată în carbon (la limita austenită-grafit) activitatea carbonului este egală cu unitatea.

Această reacție pentru fiecare temperatură va avea un echilibru prezentat prin raportul : $\frac{P_{CO} \cdot P_{H_2}}{P_{H_2O} \cdot A_{C_{(Fe)}}}$ determinat de concentrația carbonului în oțel.

În *figura 1*, se arată echilibrul sistemul de mai sus luîndu-se în considerare reacțiile principale 2 și 3 :

$$CO + H_2O \rightleftharpoons CO_2 + H_2 \qquad (2)$$

$$K_2 = \frac{P_{CO_2} \cdot P_{H_2}}{P_{CO} \cdot P_{H_2O}}$$

$$C_{(Fe)} + CO_2 \rightleftharpoons 2CO \qquad (3)$$

$$K_3 = \frac{P^2_{CO}}{P_{CO_2} \cdot A_{C_{(Fe)}}}$$

de unde rezultă : $K_1 = K_2 \cdot K_3$.

Reacția gazului de apă (2) la temperaturi înalte atinge repede echilibrul. Influența acestei reacții asupra amestecului de gaze (CO, $H_2$, $H_2O_{vap}$ și $N_2$) poate fi arătată prin următorul exemplu :

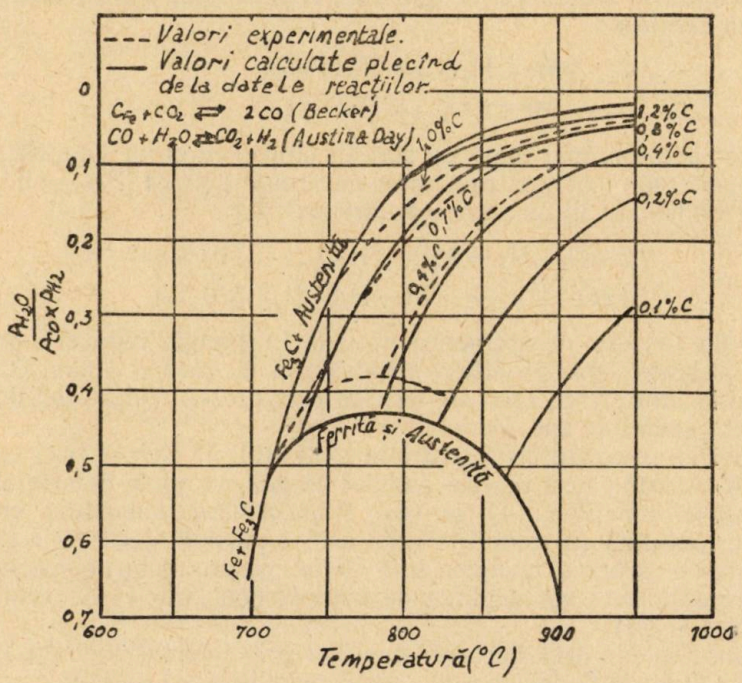



*Fig. 1.* Echilibrul sistemului $C_{Fe} + H_2O \rightleftarrows CO + H_2$.

La o compoziție inițială a amestecului de 10,1% CO ; 14% $H_2$ ; 0,34% $H_2O$ ; concentrația $CO_2$ format (x%) se calculează cu ajutorul raportului :

$$K_2 = \frac{P_{CO_2} \cdot P_{H_2}}{P_{CO} \cdot P_{H_2O}} = \frac{x \cdot (14+x)}{(10,1-x)(0,34-x)}$$

La 850 °C, $K_2 = 0,891$

De unde rezultă :

$$\frac{x \cdot (14+x)}{(10,1-x)(0,34-x)} = 0,891$$

$$x = 0,3348\% \ CO_2$$

Prin urmare, în cuptor compoziția aproximativă a gazelor va fi : 0,33% $CO_2$ ; 9,77% CO ; 14,33% $H_2$ ; 0,01% $H_2O$.

Dacă în atmosfera gazoasă se găsesc vapori de apă, ei deplasează echilibrul reacției în sensul creșterii concentrației de oxid de carbon, în timp ce diluția cu azot micșorează presiunile parțiale ale gazelor active permițînd creșterea proporției de hidrogen în amestecul de gaz.

Interacțiunea atmosferei de gaz endoterm de tipul $CO-H_2-H_2O$ cu oțelul are la bază reacțiile :

$$Me+H_2O \rightleftharpoons MeO+H_2 \quad (4)$$

$$Me+CO_2 \rightleftharpoons MeO+CO \quad (5)$$

La temperaturi mai mari de 200 °C, cînd conținutul vaporilor de apă este corespunzător limitelor punctului de rouă (+46,4 °F÷—59 °F) reacția (4) se realizează în direcția reducerii oxizilor :

$$^1/_4Fe_3O_4+H_2 \rightarrow {}^3/_4Fe+H_2O \quad (t<570\,°C)$$

$$FeO+H_2 \rightarrow Fe+H_2O \quad (t>570\,°C).$$

Reacția (5) este de asemenea posibilă în direcția reducerii oxizilor ca urmare a absenței aproape totale a bioxidului de carbon (max. 0,2% $CO_2$) în compoziția atmosferei, care atunci cînd este prezent determină desfășurarea reacției gazului de apă.

De obicei, în condițiile industriale conținutul de $CO_2$ și $H_2O$ este neglijabil și din această cauză reacția gazului de apă nu poate determina schimbarea sensului reacțiilor (4) și (5). Prin urmare, atmosfera endotermă $CO-H_2-H_2O$ obținută în condițiile unei arderi parțiale poate fi reducătoare pentru oțelurile carbon și oțelurile slab aliate ; pentru oțelurile speciale acțiunile acestei atmosfere vor depinde de valorile constantelor de echilibru ale reacțiilor (4) și (5).

Carburarea sau decarburarea oțelurilor prin interacțiunea cu atmosfera endotermă $CO-H_2-H_2O$ depinde de sensul reacțiilor (6) și (7):

$$H_2O+C_{(grafit)}=CO+H_2 \quad (6)$$

$$H_2O+C_{(Fe\,\gamma)}=CO+H_2 \quad (7)$$

Reacțiile (6) și (7) sînt endoterme, desfășurîndu-se de la stînga la dreapta cu creșterea volumului, fiind favorizate conform principiului Le Chatelier de creșterea temperaturii sau de micșorarea presiunii.

Condițiile de echilibru ale reacțiilor (6) și (7) se pot exprima prin ecuațiile :

$$K_6=\frac{P_{CO}\cdot P_{H_2}}{P_{H_2O}}$$

$$\Delta G^0_T=33\cdot 520-34{,}98\ T$$

$$K_7=\frac{P_{CO}\cdot P_{H_2}}{P_{H_2O}\cdot A_{C_{(Fe)}}}=\frac{\tau}{A_{C_{(Fe)}}}$$

Ambele reacții reprezentînd unul și același proces (carbonul sub formă de grafit liber sau dizolvat în austenită) rezultă :

$$K_7 = K_6$$

sau :

$$\tau = K_6 \cdot A_{C_{(Fe)}} \qquad (8)$$

Dacă se ține seama de relația (8) și de expresia valorică a constantei de echilibru pentru reacția (6): $\log K_6 = \frac{-70{\cdot}030}{T} + 7{,}44$ se poate construi [3] diagrama de echilibru a sistemului $CO\text{-}H_2\text{-}H_2O\text{-}C_{(Fe\,\gamma)}$ din *figura 2*. Această diagramă prezintă importanță practică deoarece cu ajutorul ei se pot prevedea procesele de carburare sau de decarburare care apar la încălzirea oțelurilor într-un anumit domeniu de temperatură. Cunoscîndu-se umiditatea atmosferei endoterme, respectiv punctul de rouă, din coloana din dreapta se poate stabili conținutul de echilibru al carbonului din oțel la o anumită temperatură.

O dată cu ridicarea temperaturii constanta de echilibru a reacției (6) se mărește, determinînd lărgirea zonei de carburare (*fig. 2*). La o compoziție constantă a atmosferei, echilibrul reacției (6) se stabilește la o anumită temperatură :

$$K_6 = \frac{P_{CO} \cdot P_{H_2}}{P_{H_2O}} = \text{const.}$$

La o temperatură mai mare decît cea corespunzătoare echilibrului oțelurile se decarburează, iar la o temperatură mai scăzută ele se carburează. Procesul de carburare sau de decarburare se oprește la stabilirea echilibrului :

$$\frac{CO \cdot H_2}{H_2O} = K_7 \; ; \; \%\, H_2O = P_{H_2O}$$

Cînd $\frac{CO \cdot H_2}{H_2O} > K_6$, respectiv $\%\ H_2O < P_{H_2O}$ se produce carburarea oțelurilor :

Dacă $\frac{CO \cdot H_2}{H_2O} < K_6$ respectiv $\%\ H_2O8 > P_{H_2O}$ — decarburarea oțelurilor.

Prin urmare, atmosfera endotermă se poate găsi în echilibru cu un oțel cu un anumit conținut de carbon ; reglarea echilibrului se poate face prin schimbarea conținutului în vapori de apă.

La interacțiunea vaporilor de apă cu carbonul se poate lua în considerare numai reacția (6) neglijindu-se reacția (9):

$$H_2O + \tfrac{1}{2}C_{(grafit)} = \tfrac{1}{2}CO_2 + H_2 \qquad (9)$$

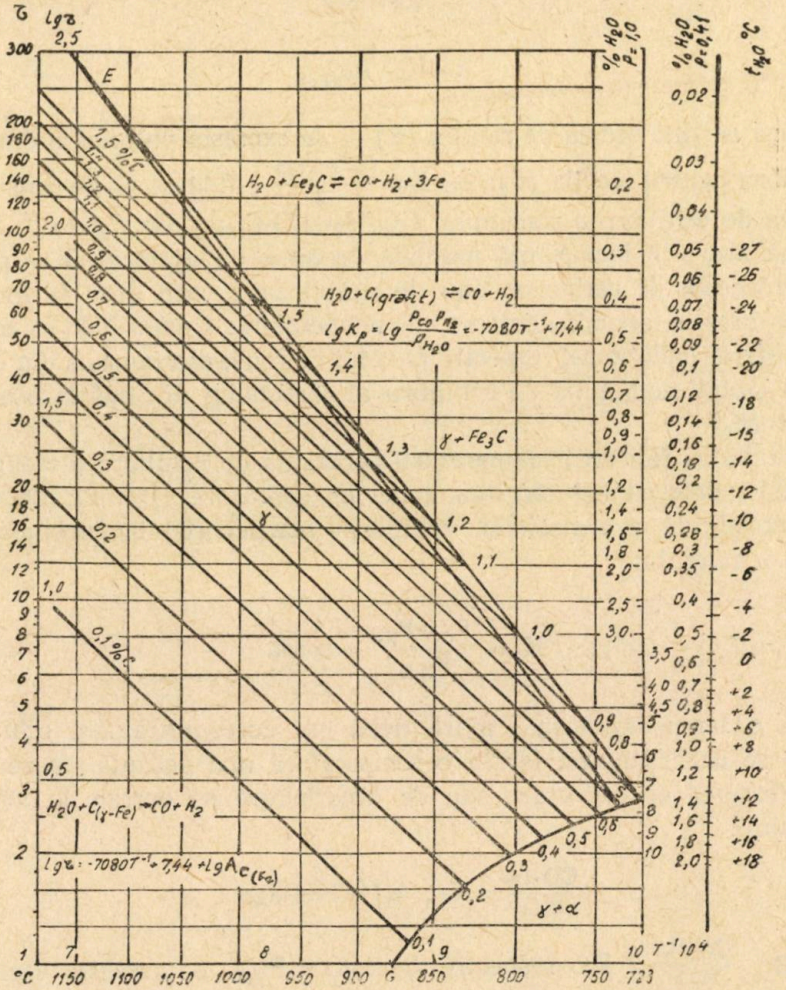



*Fig. 2.* Echilibrul sistemului CO—$H_2$—$H_2O$—$C_{(Fe\gamma)}$.

La temperaturi mai mari de 710 °C potențialul termodinamic al reacției (6) este mai negativ decît al reacției (9) (fig. 3) și de aceea această reacție se desfășoară mai energic.

La limita de saturație a soluției solide $\gamma$ se formează cementită și în astfel de condiții, interacțiunea atmosferei cu materialul metalic se realizează conform reacțiilor :

$$H_2O+Fe_3C \rightleftharpoons CO+H_2+3Fe \qquad (10)$$

$$H_2O+C_{(Fe_3C)} \rightleftharpoons CO+H_2O \qquad (11)$$

$$\log K_{11}=-\frac{6\,800}{T}+7{,}24$$

Existența $CH_4$ și a $CO_2$ în compoziția atmosferei endoterme contribuie la desfășurarea reacțiilor (12) și (13):

$$CH_4+H_2O \rightarrow CO+3H_2 \qquad (12)$$

$$\Delta G^0_T=51.750-56{,}38\,T$$

$$\log K_{12}=-\frac{11\cdot 315}{T}+12{,}32$$

$$CH_4+CO_2 \rightarrow 2CO+2H_2 \qquad (13)$$

$$\Delta G^0_T=59.040-63{,}11\,T$$

$$\log K_{13}=-\frac{12\cdot 906}{T}+13{,}79$$

La temperaturi mai mari de 820 °C potențialul termodinamic al reacției (13) este mai negativ decît al reacției (12) și (6) (*fig. 3*) și din această cauză ea se desfășoară mai energic.

La temperaturi mai mari de 710 °C reacția (12) este termodinamic mai posibilă decît reacția (6). Prin urmare, sensul reacției (6) își poate schimba direcția (cînd % $H_2O < P_{H_2O}$) din cauza scăderii cantității vaporilor de apă din compoziția amestecului gazos, ca urmare a desfășurării reacției (12).

Excesul de $CH_4$ poate carbura oțelul (*fig. 4*) din cauza disocierii sale conform reacției :

$$CH_4 \rightarrow C_{(Fe\,\gamma)}+2H_2 \qquad (14)$$

$$K_{14}=\frac{P_{H_2}}{P_{CH_4}}$$

$$\Delta G^0_T=18.240-21{,}41\,T$$

$$\log K_{14}=-\frac{3\,990}{T}+4{,}68$$

Condiția carburării oțelului este :

$$\frac{H_2^2}{CH_4} < K_{14} \quad \text{sau} \quad \% CH_4 > P_{CH_4}$$

Prin urmare, în condițiile industriale pentru carburarea oțelurilor este necesar ca în prima perioadă (în prima zonă a cuptorului cu funcționare continuă) să se introducă în atmosfera endotermă un supliment de $CH_4$ (5÷10%). În perioada următoare (zona a doua a cuptorului) compoziția atmosferei endoterme urmează să fie astfel în ceea ce privește conținutul vaporilor de apă încît să asigure conținutul optim de carbon în stratul superficial.

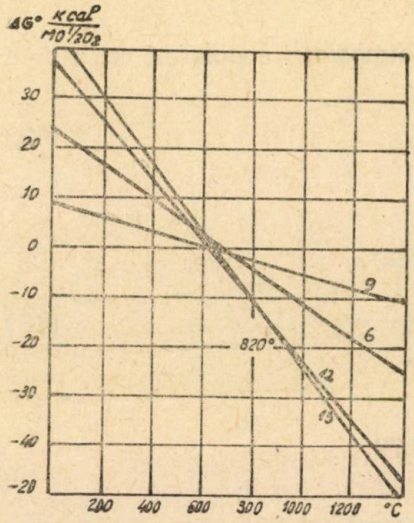



*Fig. 3.* Potențialul termodinamic al reacțiilor (6), (9), (12) și (13).

În zona $\gamma + Fe_3C$ (*fig.* 2) reacția (6) se desfășoară de la dreapta spre stînga :

$$H_2O + C \leftarrow CO + H_2$$

contribuind la carburarea oțelului în două faze : formarea soluției solide pînă la limita de saturare, urmată apoi de formarea cementitei.

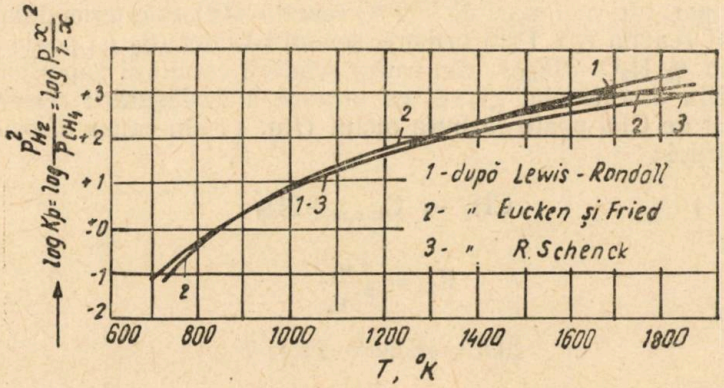



*Fig. 4.* Variația constantei de echilibru a reacției : $CH_4 \rightarrow C + H_2$ în funcție de temperatură.

În zona fierului $\gamma$ reacția (6) se desfășoară numai în sensul formării oxidului de carbon și a hidrogenului:

$$H_2O + C \rightarrow CO + H_2$$

contribuind la decarburarea oțelului pînă la stabilirea echilibrului. Această cale a decarburării nu diminuează cu nimic rolul arsurii de fier care formată la suprafața oțelului, în timpul încălzirii, poate furniza oxigenul necesar decarburării.

Pentru a se scoate în evidență efectul reacțiilor (6—12) s-au executat o serie de încălziri ale unor probe de oțel într-un cuptor cu atmosferă de gaz endoterm, obținută prin arderea parțială a $CH_4$ într-un generator de tip Lindberg Offici Hyen.

Încercările experimentale efectuate au corespuns zonelor cu un punct de rouă cît mai constant, fără a avea variații prea mari care să ducă la apariția gazelor oxidante în spațiul de încălzire și care să conducă la decarburarea oțelului (*fig. 2*).

S-a lucrat la temperatura de 800 °C, cu timp de menținere 25 minute, punct de rouă 60 °F și s-au obținut următoarele rezultate:

— probele din oțel OLC 50 $Arc_3$ și $OSC_{12}$ n-au prezentat fenomenul de decarburare;

— probele din oțel $OSC_8$ $Rul_1$ și $Rul_2$ au prezentat doar o slabă tendință de decarburare.

Rezultatele obținute se datoresc faptului că, în condițiile de lucru arătate, s-a putut menține echilibrul reacțiilor (6), (10) și (11).

Încălzirea aceleași probe efectuată în condițiile unor variații ale valorii punctului de rouă (*fig. 2*), permițînd desfășurarea reacțiilor (6), (10) și (11) și de la stînga spre dreapta, a modificat rezultatele după cum urmează:

— probele de oțel $OSC_8$ s-au decarburat pe o adîncime de 0,4—0,5 mm. periferic decarburat pe o adîncime de 0,2 mm—0,3 mm;

— probele de oțel $OSC_{12}$ au prezentat un strat decarburat pe o adîncime de 0,4 mm;

— probele de oțel $OSC_8$ s-au decarburat pe o adîncime de 0,4—0,5 mm.

Încălzirile efectuate în vederea tratamentului termic realizat la temperaturi mai mari decît temperatura de austenitizare în cazul atmosferei endoterme au permis să se stabilească valorile optime ale punctului de rouă. Pentru oțelurile cu conținut mediu de carbon valorile optime ale punctului de rouă sînt: $+45\ °F \div +61\ °F$, iar în cazul oțelurilor cu conținut ridicat de carbon și a celor de scule, valorile sînt cuprinse între $+21{,}2\ °F \div +41\ °F$.

De asemenea se remarcă faptul că în procesul de oxidare a oțelurilor în timpul încălzirii un rol important îl joacă compoziția $\left(\text{valoarea rapoartelor } \frac{CO}{CO_2} \text{ și } \frac{H_2}{H_2O}\right)$ și temperatura atmosferei spațiului de lucru.

## BIBLIOGRAFIE

1. A. A. Smikov, B. V. Malişev (1953): *Atmosfere controlate*, Moscova.
2. Ivor Jenkins (1951): *Controlied Atmospheres for the Treatment of Metals*. London, Chapman and Lall Ltd.
3. A. A. Smikov (1961): Bazele teoretice pentru folosirea atmosferei endoterme ; *Metallovedenie, 8.*
4. Werner J. Hahn (1960): Ofenatmosphäre und Wärmebehandlung, *Werkstatt und Betrieb*, **93**, *4.*
5. Şt. Mantea, T. Dulămiţă (1966): *Teoria şi practica tratamentelor termice* ; Ed. tehnică, Bucureşti.
6 N. A. Titov (1961): Influenţa azotului asupra atmosferei endoterme, *Metallovedenie, 12.*

*Manuscris primit în iunie, 1967*

# MODIFICĂRI STRUCTURALE ÎN OȚELURILE TERMOSTABILE DE TIP 1 Cr-1/2 Mo ȘI 2 1/4 Cr-1 Mo *)

A. CONSTANTINESCU, B. ROTENSTEIN și L. STAICU **)

*Institutul de cercetări metalurgice, București*

Factorul structură joacă un rol decisiv în procesul dezvoltării fluajului ; din această cauză numeroase cercetări se referă la studierea modificărilor de structură produse în timpul fluajului.

Se prezintă rezultatele cercetării pe cale röntgenografică a modificărilor de structură în cazul a două oțeluri termostabile de tip 1 Cr. — $^1/_2$ Mo și $2^1/_4$ Cr. — 1 Mo. Acestea sînt completate cu analize metalografice, optice și electronice.

Pe baza rezultatelor obținute se fac considerații teoretice asupra modificărilor produse, trăgîndu-se concluzii care contribuie la completarea datelor referitoare la comportarea în condiții de fluaj a celor două oțeluri studiate.

## 1. INTRODUCERE

Comportarea la fluaj a metalelor și aliajelor este o proprietate importantă întrucît, în multe cazuri, ea este aceea care determină durabilitatea unui anumit agregat. După cum se știe, această comportare este determinată fie de formarea, mișcarea și interacțiunea dislocațiilor și a altor imperfecțiuni ale rețelei cristaline, fie de îngroșarea rosturilor și apariția de microfisuri. Alături de aceste procese, fenomenul de difuziune inclusiv interacțiunea dintre fazele în contact influențează și el modul în care se dezvoltă fluajul metalelor.

Fără îndoială că stăpînirea comportării la fluaj a oțelurilor, aliaje mai mult sau mai puțin complexe, este foarte dificilă, dacă nu chiar imposibilă, fără a avea cel puțin o idee oricît de vagă asupra legii fundamentale a fluajului în cazul cel mai simplu, al unui metal pur.

---

*) *Comunicare prezentată la a 3-a Conferință „Analiza röntgen-structurală și spectrală în metalurgie", Gliwice, 1966.*

**) *Lucrările experimentale au fost efectuate în cadrul laboratoarelor Institutului de cercetări metalurgice — București.*

În literatura de specialitate se găsesc foarte multe ecuații propuse pentru a exprima matematic fluajul, care însă au fost abandonate una după alta.

Un substanțial pas înainte la valorificarea practică a rezultatelor încercărilor de fluaj îl reprezintă formulele parametrice [1]—[3], care nu sînt altceva decît simple relații între solicitare și timp și nu ecuații fundamentale. În acest scop se accelerează, în timpul încercării, atingerea deformației totale dorite sau ruperea, prin utilizarea unei temperaturi mai ridicate decît temperatura de serviciu. Durata necesară la această temperatură mai ridicată este apoi transformată în durată corespunzătoare la temperatura de serviciu prin intermediul parametrilor timp-temperatură. Baza teoretică a acestor formule rezidă în ecuația lui Arrhenius:

$$t = A \exp(-\Delta H/kT) \qquad (1)$$

unde t este timpul (durata), A o constantă, $\Delta H$ energia de activare, k constanta gazelor perfecte și T temperatura absolută.

Într-un metal pur, singura schimbare structurală care se poate produce în timpul fluajului fiind datorată „consolidării", consecință a multiplicării și concentrării dislocațiilor, se poate considera că metalele pure au o rezistență inițială de fluaj, care nu se modifică de-a lungul fenomenului [4] și deci se confundă, în acest caz, cu rezistența totală de fluaj. Aceasta cu atît mai mult cu cît în timpul fluajului se produce și fenomenul de restaurare care acționează în sens invers efectului de consolidare.

Adăugarea unui element care formează soluții solide de substituție mărește proprietățile de rezistență, datorită deformării rețelei cristaline. Gradul de deformare depinde de diferența dintre razele atomice ale metalului dizolvant și ale celui dizolvat. Adăugarea unor elemente ale căror atomi se plasează interstițial, conduce de asemenea la creșterea rezistenței la temperaturi ridicate, atunci cînd produce ridicarea temperaturii de recristalizare și a punctelor critice. În consecință, rezistența inițială la fluaj a unei soluții solide interstițiale este, în general, mai ridicată decît a metalului pur, dar nu este de așteptat ca ea să aibă o comportare total diferită la fluaj față de a acestuia, ceea ce face posibilă aplicarea parametrului timp-temperatură.

În mod similar, se poate arăta că acest parametru se poate aplica și în cazul prezenței unui precipitat fin dispersat care, după cum se știe, mărește sensibil proprietățile de rezistență la temperaturi ridicate, în cazul în care condițiile de încercare sînt astfel încît nu se produc aglomerări ale sale.

Din păcate, în majoritatea cazurilor, dacă nu în totalitate, fluajul materialelor practice nu se supune unor relații simple funcționale.

Este de presupus, deci, că modificările structurale ce se produc în timpul fluajului în majoritatea aliajelor folosite la temperaturi ridicate sînt mai complexe decît simpla consolidare a cristalelor. Factorul structură joacă, în consecință, un rol decisiv în procesul dezvoltării fluajului, ceea ce justifică eforturile ce se fac în studierea modificărilor de structură produse în timpul fluajului, în special în legătură cu rolul pe care-l au diversele elemente de

aliere, tratamentul termic și deformarea plastică prealabilă, din punctul de vedere analizat.

În cadrul lucrării de față ne-am propus să studiem unele din aspectele semnalate în cazul oțelurilor termostabile de tip 1 Cr — $\frac{1}{2}$ Mo și $2\frac{1}{4}$ Cr — 1 Mo.

## 2. MATERIALUL CERCETAT ȘI METODICA CERCETARII

Cercetările efectuate s-au referit la două oțeluri termostabile Cr-Mo a căror compoziție chimică este redată în tabela 1.

*Tabela 1*

| Nr. crt. | Tipul oțelului | Compoziția chimică | | | | | | | Tratamentul termic |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | C | Mn | Si | P | S | Cr | Mo | |
| 1 | 1 Cr-1/2 Mo | 0,13 | 0,63 | 0,58 | 0,047 | 0,031 | 1,24 | 0,45 | stare de livrare |
| 2 | 2 1/4 Cr-1 Mo | 0,14 | 0,47 | 0,37 | 0,025 | 0,010 | 2,26 | 0,80 | stare de livrare |

Probele din care s-au executat epruvetele destinate încercărilor de fluaj au provenit din țevi, cu grosimea peretelui cuprinsă între 14 și 16 mm, destinate utilizării într-o rafinărie la temperaturi pînă la max. 823 °K.

Aceste epruvete au fost supuse încercărilor de fluaj sub valori diferite ale tensiunii și la durate diferite ; încercările au fost efectuate la temperaturile 773, 823 și 873 °K. Duratele la care au fost expuse epruvetele au fost astfel alese încît întotdeauna s-a depășit stadiul primar al fluajului, iar în unele cazuri s-a mers chiar pînă la ruperea epruvetelor. Din epruvetele astfel încercate au fost ulterior prelevate epruvete cu lungimea de 65 mm și diametrul de 10 mm. Ele au fost supuse dizolvării electrolitice pentru extragerea carburilor *). S-a lucrat cu o soluție de 75 g KCl și 5 g acid citric la litru, densitatea curentului fiind de 0,025 . . . 0,035 A/cm$^2$, la temperatura de 273 °K.

Pulberea obținută prin electroliză s-a analizat la o instalație röntgenstructurală. Probele s-au executat prin lipirea pulberii pe un fir subțire de sticlă ($\phi$ 0,2—0,3 mm), cu balsam de Canada, obținîndu-se un mic cilindru cu $\phi$ 1—1,8 mm. Pentru expuneri s-au utilizat camere cilindrice Debye ($\phi$ 57,4 mm) în care probele s-au rotit cu două ture pe minut.

În vederea obținerii unei imagini asupra posibilităților metodei s-au făcut inițial încercări pe pulberi pure de aluminiu și cupru. Regimurile de lucru la instalație sînt arătate în tabela 2.

*) *Aceste lucrări au fost efectuate cu colaborarea ing. Oleg Negruș.*

*Tabela 2*

| Nr. crt. | Proba | Radiația utilizat | Filtru | λ Å | Tensiunea kV | Intensitatea mA | Durata expunerii h |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Aluminiu | Cu | Ni | 1,540 | 40 | 12 | 4 |
| 2 | Cupru | Cu | Ni | 1,540 | 40 | 12 | 4 |
| 3 | Carburi Fe, Cr, Mo | Cr | V | 2,287 | 25 | 15 | 8...30 |

Interpretarea röntgenogramelor s-a făcut prin calculul rapoartelor d/n (d=distanța dintre planele reticulare ale cristalului; n=„ordinul" reflexiei) și aprecierea vizuală a intensității. Identificarea fazelor s-a realizat prin compararea valorilor obținute experimental pentru d/n și a intensităților, cu cele din tabelele publicate în literatură [5]. S-a considerat că faza respectivă este prezentă cînd se constată că cel puțin trei linii determinate experimental coincid la d/n cu cele din tabele, iar intensitățile sînt similare. În tabela 3 sînt redate rezultatele obținute pe pulberi de aluminiu și cupru, comparativ cu cele din literatură [5]. În acest tabel intensitățile liniilor apreciate vizual s-au clasificat astfel : T — tare ; M — mediu ; S — slab ; iar prin fotometrare se exprimă raportate la linia cea mai intensă, a cărei intensitate se ia 1,00.

*Tabela 3*

| Nr. crt. | Aluminiu | | | | Cupru | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | d/n Å exp. | d/n Å literatură | I exp. | I literatură | d/n Å exp. | d/n Å literatură | I exp. | I literatură |
| 1 | 2,320 | 2,330 | T | 1,00 | 2,07 | 2,08 | T | 1,00 |
| 2 | 2,010 | 2,020 | M | 0 40 | 1,80 | 1,80 | T | 0,53 |
| 3 | 1,423 | 1,430 | M | 0,30 | 1,27 | 1,28 | M | 0,33 |
| 4 | 1,216 | 1,220 | M | 0,30 | 1,09 | 1,09 | M | 0,33 |
| 5 | 1,170 | 1,170 | S | 0,07 | 1,04 | 1,04 | S | 0,09 |
| 6 | 0,928 | 0,928 | S | 0,04 | 1,90 | 0,90 | S | 0,03 |
| 7 | 0,905 | 0,905 | S | 0,04 | | | | |
| 8 | 0,825 | 0,826 | S | 0,01 | | | | |

Din tabela 3 se observă că valorile lui d/n determinate experimental, coincid pînă la o diferență de max. 0,01 Å cu cele publicate în literatură. Pe baza acestor rezultate se poate considera că în condiții experimentale medii, lucrînd și pe materiale ce cristalizează în alte sisteme decît cel cubic, nu se va face în nici un caz o eroare mai mare de ±0,02 Å la determinarea lui d/n. Eroarea care se face la determinarea lui d/n provine de la măsurarea distanțelor 2L dintre liniile simetrice de pe röntgenogramă. În tabela 4 se arată eroarea rezultată ΔL (mm) în determinarea lui 2L (mm) pornind de la o eroare de ±0,02 Å la d/n, pentru diferite radiații de lucru.

Dacă se ține seama și de faptul că atît carburile cît și celelalte faze care interesează oțelurile nu au linii de intensitate medie la d/n peste 2,5 Å,

atunci eroarea admisibilă este de peste ±0,3 mm, valoare care desigur că este prea mare chiar și la măsurarea lui 2L cu instrumente obișnuite, ca de

*Tabela 4*

| Nr. crt. | d/n Å | ΔL, mm | |
|---|---|---|---|
| | | Cu λ=1,540Å | Cr λ=2,287Å |
| 1 | 5,00±0,02 | ±0,1 | ±0,1 |
| 2 | 4,50±0,02 | ±0,1 | ±0,2 |
| 3 | 4,00±0,02 | ±0,1 | ±0,2 |
| 4 | 3,50±0,02 | ±0,2 | ±0,2 |
| 5 | 3,00±0,02 | ±0,2 | ±0,3 |
| 6 | 2,50±0,02 | ±0,3 | ±0,5 |
| 7 | 2,00±0,02 | ±0,5 | ±0,8 |
| 8 | 1,50±0,02 | ±0,9 | ±0,8 |

exemplu șublerul. În practică ΔL nu a depășit ±0,2 mm, astfel că d/n se determină cu o eroare de maximum ±0,01 Å, așa cum s-a obținut la aluminiu și cupru.

Pe röntgenogramele probelor analizate s-au identificat parțial — în funcție de condițiile încercărilor de fluaj — liniile redate în tabela 5.

*Tabela 5*

| Nr. crt. | d/n Å | I | Faza căreia i s-a atribuit linia |
|---|---|---|---|
| 1 | 2,64 | S | $Cr_{23}C_6$ |
| 2 | 2,57 | M | $Mo_2C$ |
| 3 | 2,35 | S | $Mo_2C$ |
| 4 | 2,22 | S | $Fe_3C$ |
| 5 | 2,10 | S | $Fe_3C$ |
| 6 | 2,07 | S | $Fe_3C$ |
| 7 | 2,02 | M | $Cr_7C_3$, $Cr_{23}C_6$ |
| 8 | 1,98 | S | $Fe_3C$ |
| 9 | 1,95 | M | $Cr_7C_3$ |
| 10 | 1,87 | S | $Fe_3C$ |
| 11 | 1,84 | S | $Cr_7C_3$ |
| 12 | 1,75 | S | $Cr_7C_3$, $Fe_3C$ |
| 13 | 1,62 | S | $Cr_{23}C_6$ |
| 14 | 1,33 | S | $Cr_{23}C_6$ |
| 15 | 1,28 | S | $Cr_7C_3$ |
| 16 | 1,22 | S | $Cr_7C_3$ |
| 17 | 1,19 | S | $Mo_2C$ |

Este de precizat de asemenea faptul că filmele obținute prezintă o creștere pronunțată a fondului la unghiuri mari, ceea ce constituie un impediment pentru fotometrarea liniilor și nu a permis determinări cu caracter

cantitativ. Acest impediment a fost înlăturat prin folosirea unui difractometru, în care situație s-au obținut unele rezultate în ceea ce privește analiza cantitativă a carburilor. Totodată, cu ajutorul difractometrului, s-au verificat valorile d/n ale liniilor de pe röntgenogramele unor probe mai reprezentative.

Studiul naturii carburilor efectuat cu ajutorul razelor X a fost completat de studii metalografice efectuate pe probe extrase din capetele epruvetelor încercate la fluaj și din care anterior se prelevaseră probe pentru extragerea carburilor. Probele au fost atacate, în prealabil, cu o soluție de 2% acid azotic în alcool etilic, durata atacului fiind de 25 s.

Aceleași probe au fost ulterior supuse cercetărilor metalografice electronice după replici în 2 trepte : colodiu, carbon *).

Cercetări similare au fost efectuate și asupra probelor din oțel nesupus încercărilor, precum și expus doar influenței temperaturii. Pentru cunoașterea mai completă a naturii constituenților metalografici, prin alte cercetări s-au întocmit diagramele transformării izoterme a austenitei pentru aceste oțeluri, precum și diagrama transformării austenitei la răcire continuă pentru oțelul 1 Cr—½ Mo [6].

## 3. MODIFICĂRILE STRUCTURALE PRODUSE ÎN TIMPUL FLUAJULUI ÎN CELE DOUĂ OȚELURI TERMOSTABILE STUDIATE

### 3.1. Oțelul termostabil de tip 1 Cr — ½ Mo

Oțelul termostabil care a făcut obiectul cercetării are caracteristicile de fluaj redate în tabela 6.

*Tabela 6*

| Nrr. crt. | Denumirea caracteristicilor de fluaj și simbol | Valorile caracteristicilor de fluaj kp/mm² | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 773 °K | 823 °K | 823° |
| 1 | Limita de fluaj $\sigma_{0,5/1\,000\ h}$ | — | 11 | — |
| 2 | Limita de fluaj $\sigma_{0,5/10\,000\ h}$ | — | 6 | — |
| 3 | Limita de fluaj $\sigma_{0,5/100\,000\ h}$ | — | (3,5)*) | — |
| 4 | Limita de fluaj $\sigma_{1/1\,000\ h}$ | — | 13 | — |
| 5 | Limita de fluaj $\sigma_{1/10\,000\ h}$ | — | 8,5 | — |
| 6 | Limita de fluaj $\sigma_{1/100\,000\ h}$ | — | (5) | — |
| 7 | Rezistența de fluaj $\sigma_{r/1\,000\ h}$ | 21 | 14,5 | 8,5 |
| 8 | Rezistența de fluaj $\sigma_{r/10\,000\ h}$ | 15 | 10 | (4,5) |
| 9 | Rezistența de fluaj $\sigma_{r/100\,000\ h}$ | (11) | (7,5) | (2,5) |

*) ( ) — valori determinate prin extrapolare

*) *Aceste lucrări au fost efectuate cu colaborarea ing. Minodora Iacob.*

*Fig. 1.* Microstructura oțelului 1 Cr-$^1/_2$ Mo în stare inițială. Ferită, bainită superioară și carburi. 600 : 1.

*Fig. 2.* Microstructura oțelului 1 Cr-$^1/_2$ Mo, după menținerea de 1 000 h la 823 °K și ruperea prin fluaj după 100 h la 873 °K sub tensiunea de 20 kp/mm². Ferită, bainită, perlită și carburi. Secțiune longitudinală. Micrografie în apropierea rupturii. 300 : 1.

*Fig. 3.* Microstructura oțelului 1 Cr-$^1/_2$ Mo supus încercării de fluaj la 823 °K, sub tensiunea de 10 kp/mm², timp de 2 750 h. Ferită, bainită, carburi, perlită. 2×5 000 : 1

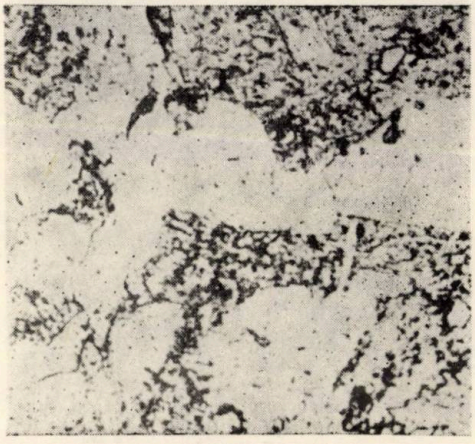


*Fig. 4.* Microstructura oțelului 1 Cro-$^1/_2$ Mo supus încercării de fluaj la 873 °K, sub tensiunea de 7.15 kp/mm², timp de 1 500 h. Ferită, bainită, carburi, perlită. 600 : 1.

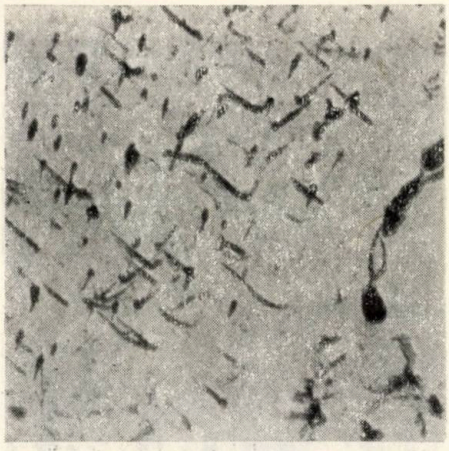


*Fig. 5.* Microstructura oțelului 1 Cr-$^1/_2$ Mo. Epruveta din fig. 4. Ferită și carburi. 2×5 000 : 1.

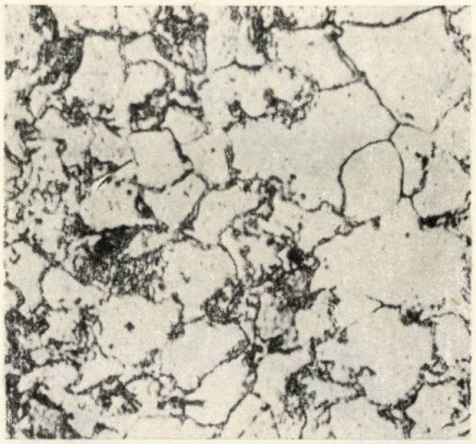


*Fig. 6.* Microstructura oțelului $2^1/_4$ Cr- Mo în stare inițială. Ferită, bainită, carburi, perlită 600 : 1.

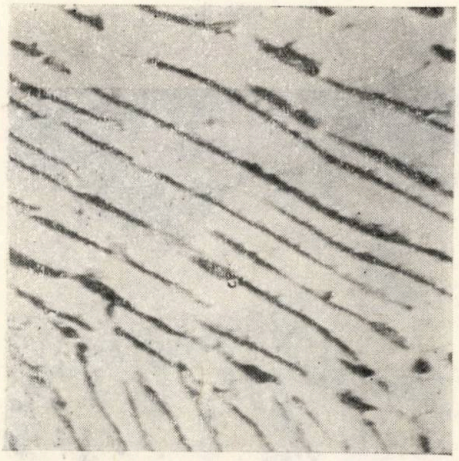


*Fig. 7.* Microstructura oțelului $2^1/_4$ Cr-1 Mo. în stare inițială. 2×5 000 : 1.

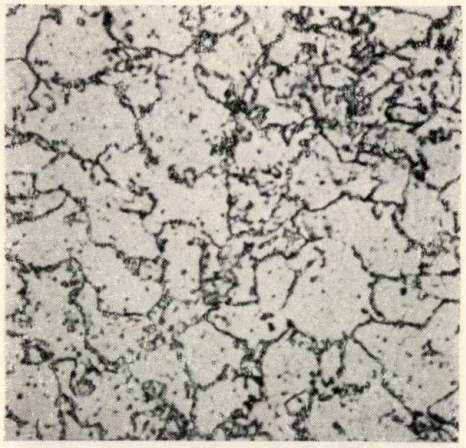


*Fig. 8.* Microstructura oțelului $2^1/_4$ Cr-1 Mo supus încercării de fluaj la 773 °K, sub tensiunea de 265 N/mm² (27 Kp/mm²), timp de 5 400 h. Ferită, bainită, perlită și carburi. 600 : 1.

În stare inițială microstructura oțelului este formată din ferită, bainită și carburi (*fig. 1*). La analiza carburilor extrase electrolitic din proba corespunzătoare microstructurii inițiale s-au găsit $(Fe, Cr)_3C$ și $Cr_7C_3$.

Îmbătrînirea prin menținere timp de 1 000 h la temperatura de 823 °K a oțelului studiat a condus la următoarele modificări structurale: o oarecare globulizare a particulelor de carburi din bainită și intensificarea precipitării acestor faze pe rosturi. Natura carburilor nu s-a schimbat. Röntgenografic s-a constatat doar mărirea relativă a cantității lor.

Pentru evidențierea mai pregnantă a modificărilor structurale care se produc în oțel, s-a supus o epruvetă unor condiții mai grele de încercare la fluaj. Astfel, oțelul anterior îmbătrînit a fost încercat la temperatura de 873 °K sub o tensiune de 20 Kp/mm². În acest caz, ruperea s-a produs după numai 100 h. Analiza metalografică a scos în evidență modificări structurale noi. S-a constatat apariția perlitei, diseminarea accentuată a particulelor bainitei și formarea unor precipitate aproape continui pe rosturile feritei. În natura carburilor s-a produs de asemenea, o modificare: a apărut $Cr_{23}C_6$. În secțiune longitudinală în apropierea rupturii s-a remarcat deformarea puternică a constituenților și apariția unor microfisuri pe unele rosturi ale feritei (*fig. 2*).

În condițiile descrise, s-a produs deci înmuierea feritei și fragilizarea rosturilor, fenomene care au provocat ruperea prematură a oțelului.

Microstructura oțelului încercat la fluaj sub diferite tensiuni: 8, 10, 13 și 15 Kp/mm², timp de maximum 3 300 h la temperatura de 773 °K, nu a suferit modificări sesizabile. Totuși, s-a constatat apariția în cantitate mică a carburii $Cr_{23}C_6$.

La 823 °K, în microstructura epruvetei încercate la fluaj sub tensiunea de 10 Kp/mm² timp de ~2 750 h a apărut, probabil, perlita, iar pe rosturile feritei au precipitat carburi foarte fine, discontinue (*fig. 3*). În bainită nu au avut loc modificări.

S-a constatat, de asemeni, prezența carburii $Cr_{23}C_6$, pe lîngă $(Fe, Cr)_3C$ și $Cr_7C_3$. În cazul încercării la aceeași temperatură, sub tensiunea de 15 Kp/mm², epruveta s-a rupt după ~1 500 h. De remarcat, prezența în microstructura epruvetei respective a unor grăunți de bainită de mărime foarte diferite și granulația aproape uniformă a feritei. În acest caz s-au observat în masa feritei numeroase carburi mai ales aciculare, probabil de $Mo_2C$, prezența unor carburi în particule distincte, discontinue, pe rosturile ei și rareori rosturi continuu ocupate de carburi.

Comparînd microstructurile a două epruvete menținute același timp — 1 500 h — la 823 °K și 873 °K, sub tensiunile de 10 Kp/mm² și respectiv 7,15 Kp/mm² se remarcă influența mare a temperaturii asupra proceselor de precipitare din soluția solidă: carburi numeroase fin diseminate în masa feritei (*fig. 4*).

La grosismente mari, în soluția solidă a oțelului corespunzător epruvetei expuse la 873 °K se constată prezența unor particule aciculare aran-

jate pe două direcții aproape perpendiculare între ele (*fig. 5*). Röntgenografic nu s-a constatat totuși ceva nou în natura carburilor celor două probe și nici vreo deosebire între ele ($Fe_3C$, $Cr_7C_3$ și slab $Cr_{23}C_6$).

Din cele expuse cu privire la modificările structurale ce au loc în timpul încercărilor de fluaj a epruvetelor din oțelul 1 Cr—½ Mo, reiese că acest oțel se remarcă printr-o slabă tendință de fragilizare, manifestată la temperaturile de 823 și 873 °K.

Ruperea este precedată de o puternică deformare plastică a oțelului, la care participă atît ferita cît și bainita.

Micrografiile în vecinătatea rupturii arată existența unor fisuri bine deschise pînă la distanțe mai mari de 2 mm, plasate la rosturi. Densitatea și mărimea lor scad cu îndepărtarea de ruptură.

În interiorul grăunților de ferită se remarcă așezarea carburilor precipitate de-a lungul unor linii aproape paralele cu rosturile acestor grăunți. Sînt puse astfel în evidență liniile de alunecare ale feritei. Această orientare se remarcă destul de bine în așezarea carburilor din interiorul bainitei. La cca 10 mm de ruptură, aceste efecte de deformări plastice nu s-au mai remarcat.

### 3.2. Oțelul termostabil de tip 2¼ Cr — 1 Mo

Caracteristicile de fluaj de lungă durată ale acestui oțel nu au fost încă determinate.

În stare inițială, microstructura oțelului este formată din ferită, bainită și puțină perlită (*fig. 6*). Aspectul acestor constituenți este clar pus în evidență la grosismente mari. Pe rosturile feritei apar carburi izolate, iar în masa acestei faze se observă un precipitat fin. Perlita apare bine reliefată, formată din lamele lungi și paralele (*fig. 7*). În unele cazuri s-au observat particule mai mici așezate parcă radial ca în troostită.

Încercările de fluaj efectuate la 723 °K, sub tensiunile de 16 Kp/mm² și 27 Kp/mm², au determinat în structura oțelului de tip 2¼ Cr—1 Mo modificări similare în general cu cele remarcate la oțelul de tipul 1 Cr—½ Mo.

În microstructura oțelului încercat sub tensiunea de 16 Kp/mm², timp de 2 550 h, s-au observat la microscopul electronic modificări în toți constituenții. În masa feritei au apărut particule fine, destul de numeroase și alte particule mari, rare, așezate parcă de-a lungul unor subrosturi. Carburile bainitei și perlitei sînt mai îngroșate, iar pe rosturile feritei se observă particule alungite, izolate, de carburi.

Oțelul încercat timp de 5 400 h sub o tensiune de 27 Kp/mm² are o microstructură mai evoluată (*fig. 8*). Grăunții de bainită s-au desfăcut în formații mai mici și mai risipite, cuprinzînd și porțiuni de perlită. Au precipitat numeroase carburi în masa feritei. La microscopul electronic s-a constatat că rosturile feritei sînt ocupate de carburi care formează filamente de-a lungul acestora. În interiorul grăunților de ferită au apărut și linii de alunecare.

## 4. CONSIDERAȚII ASUPRA MODIFICĂRILOR STRUCTURALE PRODUSE ÎN TIMPUL FLUAJULUI ÎN OȚELURI

În cazul oțelurilor, consolidarea cristalelor ca efect al unor tensiuni avînd valori sub limita de curgere, se produce la temperatura obișnuită după un timp îndelungat. La temperaturi ridicate, ea se produce mult mai repede și este denumită „durificare prin îmbătrînire mecanică" [8]. Spre deosebire de consolidarea cristalelor, durificarea prin îmbătrînire mecanică reprezintă un fenomen mult mai complex. Asupra acestui fenomen există în prezent două explicații. Unii autori susțin că micșorarea vitezei de fluaj în urma durificării prin îmbătrînire mecanică se datorește unor precipitări de carburi în dislocațiile formate în timpul procesului de deformare, iar alții cred, că ea se produce ca urmare a formării „atmosferelor" Cottrell, care constituie bariere în calea mișcării dislocațiilor.

În timpul fluajului, materialul studiat se durifică — ca urmare a îmbătrînirii mecanice — la o valoare mai mare sau mai mică de deformație, în funcție de nivelul solicitării și al temperaturii de încercare. Ca efect al durificării prin îmbătrînire mecanică, rezistența la fluaj crește în timpul evoluției fenomenului de fluaj. Acest fenomen nu are însă nici un efect asupra rezistenței inițiale la fluaj a materialului respectiv, întrucît el nu poate avea loc atît timp cît nu s-a produs o oarecare consolidare a cristalelor. În consecință, orice efect de sporire a rezistenței la fluaj ca urmare a durificării prin îmbătrînire mecanică se adaugă la rezistența inițială de fluaj, astfel încît în aceste cazuri rezistența totală de fluaj se compune dintr-o rezistență inițială și una potențială care devine reală în timpul desfășurării fluajului.

Pentru a avea o imagine completă a efectelor durificării prin îmbătrînire mecanică trebuie amintit și un alt aspect, observat experimental, care pare a avea o importanță fundamentală în ce privește dezvoltarea fluajului unui aliaj complex. Astfel, încercări de întindere efectuate pe oțeluri aliate au scos în evidență faptul că un element de aliere cu tendință pronunțată de a forma carburi modifică efectul altui element care are această tendință mai puțin pronunțată. Într-adevăr, s-a observat că adăugarea cromului în oțeluri conduce la o reducere a capacității de durificare prin îmbătrînire la temperatura de 473 °K a oțelului, acționînd în direcția creșterii valorii temperaturii la care îmbătrînirea mecanică are efect maxim. Cum însă la 473 °K nu poate precipita carbura de crom, întrucît la această temperatură energia de difuziune a atomilor de crom este prea mică și deci ei difuzează prea încet, se poate presupune că atomii de C și N aflați în soluția interstițială tind să se separe în spațiile adiacente atomilor de crom, întîmpinînd dificultăți în migrarea lor spre dislocațiile formate în timpul deformării. Fenomenul descris, demonstrează că intensitatea oricărui efect de durificare prin îmbătrînire mecanică produsă în timpul fluajului depinde de natura și cantitatea fiecărui element de aliere adăugat. Acest fenomen face și mai dificilă evaluarea importanței relative a durificării soluției solide în astfel de aliaje,

din moment ce ceea ce se crede a fi durificare ca efect al îmbătrînirii mecanice poate fi, în unele cazuri, pur și simplu efectul unui element de aliere suprapus peste efectul altui element, asupra fenomenului de durificare.

Un alt fenomen întîlnit în oțelurile supuse fluajului este fenomenul de durificare prin precipitare. Deși asupra acestui fenomen s-a scris mult, efectul său asupra proprietăților de fluaj este relativ puțin cunoscut. După cum s-a arătat, durificarea prin îmbătrînire mecanică se manifestă cînd s-au format suficiente dislocații în materialul studiat. Precipitarea datorită deformării poate și ea să apară chiar și în aliajele durificate prin precipitare. De altfel, J. Glen [10] și [11] a arătat că între cele două tipuri de aliaje nu se poate practic afirma că există vreo deosebire în ce privește comportarea lor la temperaturi ridicate.

Asemănarea de comportare dintre aliajele durificate prin îmbătrînire mecanică și aliajele durificate prin precipitare, ușurează clarificarea efectului pe care-l are tratamentul de revenire aplicat înaintea utilizării în condiții de fluaj. În condițiile normalizării unui oțel aliat, nu se formează carburi aliate în echilibru datorită vitezei relativ mari de răcire, dar se formează cementita. Ca urmare, rezistența inițială de fluaj precum și cea potențială a oțelului respectiv vor fi mari. În cazul în care oțelul respectiv este supus unei reveniri, pot precipita carburi aliate fin dispersate, ceea ce va conduce la creșterea rezistenței inițiale de fluaj.

Din moment ce însă elementul de aliere care a format carbura aliată a ieșit din soluție, în dislocațiile produse în timpul fluajului mai rămîne, puțin precipitat fin. Rezultă că deși revenirea conduce la creșterea rezistenței inițiale de fluaj ea produce în schimb micșorarea rezistenței potențiale. Pe de altă parte, o prelungire prea mare a duratei de revenire poate produce coalescența carburilor, ceea ce va avea drept efect scăderea rezistenței inițiale de fluaj și în special a celei potențiale, care poate deveni minimă.

În cazul aliajelor în care diversele elemente de aliere pot fi puse în soluție pentru a forma o structură monofazică, rezistența inițială la fluaj va fi destul de scăzută, dar cea potențială poate fi foarte mare. Revenirea acestor oțeluri poate mări considerabil rezistența inițială pe seama celei potențiale. De asemeni, trebuie luate în considerare și efectele restaurării și coalescenței care se produc în timp în decursul fluajului și care, în general, acționează în direcția scăderii rezistenței la fluaj.

Din cele relatate, rezultă că forma curbelor de fluaj obținute în cursul încercărilor de laborator și deci comportarea la fluaj, depinde de starea inițială a materialului de încercat și de modificările care se produc în timpul fenomenului de fluaj. Evident nu se pot face nici un fel de presupuneri în ce privește comportarea de lungă durată la fluaj pe seama unor încercări de mai scurtă durată, fără a avea o imagine clară și completă a efectelor rezistenței inițiale și potențiale la fluaj (deci a structurii inițiale și a modificărilor din timpul fluajului), precum și a fenomenului de coalescență.

## 5. CONCLUZII

Din analiza rezultatelor obținute în urma studierii a două oțeluri termostabile se constată că în microstructura lor apar modificări structurale de natura celor menționate în literatura de specialitate ca ținînd de însăși mecanismele de fluaj. Astfel, ca urmare a evoluției cu durate diferit în condiții de fluaj, s-au constatat următoarele modificări în structura oțelurilor studiate:

a) Precipitări de carburi pe rosturile grăunților de ferită și în masa acestei faze. Aceste precipitări au ca urmare pe de o parte blocarea mișcării dislocațiilor și deci creșterea rezistenței potențiale de fluaj, iar pe de altă parte o oarecare fragilizare a oțelurilor, în special în zona rosturilor.

b) Apariția unor linii de alunecare în interiorul grăunților de ferită, ca urmare a alunecărilor din interiorul cristalelor, provocate de acțiunea combinată a tensiunii și temperaturii.

c) Existența unor microfisuri în zona rosturilor în porțiunile din apropierea rupturii. Aceste microfisuri arată caracterul intercristalin al ruperii datorită migrării și concentrării vacanțelor în zona rosturilor, fenomene ce se produc în cazul fluajului la temperaturi relativ ridicate.

d) Apariția carburii $Cr_{23}C_6$, ca efect al evoluției avansate a reacțiilor de transformare a carburilor în condițiile unui fluaj avansat.

e) Modificări privind aspectul morfologic al bainitei și perlitei în urma efectului combinat al tensiunii și temperaturii.

Cunoașterea modificărilor structurale menționate contribuie la aprofundarea și completarea datelor referitoare la comportarea celor două oțeluri studiate în condiții de fluaj. Pe această bază crește posibilitatea unei utilizări mai economice și mai sigure în condițiile grele ale temperaturilor ridicate.

## BIBLIOGRAFIA

1. F. R. Larson și J. Miller (1952): *Trans. ASME*, **74**, 765—771.
2. J. E. Dorn — N.P.L. (1953): *Symposium on Creep and Fracture of Metals at High Temperature*, 89—132, Londra, H.N.S.O.
3. S. S. Manson și A. N. Haferd (1953): *NACA TN, 2890.*
4. L. Rotherham și C. R. Tottle (1954): *NP.L. Symposium on Creep and Fracture of Metals at High Temperature*, 175—188, Londra, H.N.S.O.
5. Iu. A. Bagariațkii (1961): *Rentgenografiia v fiziceskom metallovedenii*, Moskva.
6. B. Rotenstein și L. Staicu (1966): Modificări structurale în oțelurile termostabile 1 Cr—$^1/_2$ Mo și 2$^1/_4$ Cr—1 Mo prin tratamente termice, *Metalurgia, 19*, 2, 77—85.
7. A. Constantinescu și N. Lașcu-Simion (1966): Badanie wzrostu kruhocsi w czasie petzania dwu zarowytrzymatych stali chromowych, *Buletyn Metaloznawstwo stosowane*, **12**, *1* (55), 25—31.
8. J. Glen (1958): *JISI*, **190**, part. 2, oct., 114—135.
9. A. H Cotrell și M. A. Jaswon (1949): *Proc. Roy. Soc.*, **199**, ser. A, 104—114.
10. J. Glen: Symposium on Strength and Ductility of Metals at Elevated Temperature, *Spec. Teh. Publ., 128*, ASTM, 183—221, Philadelphia.
11. J. Glen (1957): *JISI*, **186**, mai, 21—48.

*Manuscris primit în ianuarie, 1967*

# INFLUENȚA FACTORILOR GEOMETRICI A CONCENTRATORILOR DE DESCĂRCARE ASUPRA REZISTENȚEI LA RUPERE STATICĂ A UNOR OȚELURI

ȘT. NĂDĂȘAN, L. BOLEANȚU, M. FISCHER

*Centrul de cercetări tehnice al Academiei R.S. România, Timișoara*

In lucrare se analizează influența factorilor geometrici ai concentratorilor de bază și de descărcare asupra rezistenței la rupere a unor epruvete din OL 38, OLC 35 și 41 MoC 11 și asupra stărilor de tensiune la baza concentratorilor multipli, la epruvete de araldit B, examinate în lumină polarizată, solicitate sub limita de elasticitate la întindere monoaxială.

Din concluziile lucrării se deduce că efectul global al concentratorilor multipli se manifestă prin suprapunerea efectului pozitiv al stării triaxiale de tensiune și efectul negativ al vîrfului de tensiune la baza crestăturii.

Un rezultat practic al lucrării este indicația de utilizare corespunzătoare a concentratorilor de descărcare, prevăzuți pe piese de rezistență, construite din oțelurile studiate sau similare lor.

Comportarea fragilă sau tenace a materialelor este influențată de temperatura și de viteza la care se produce solicitarea elementului de rezistență, precum și de starea de tensiune dintr-un anumit element al mediului elastic solicitat, definită prin tensiunile principale $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$. Un interes deosebit pentru calculul de rezistență îl prezintă fenomenul de concentrare a tensiunilor în zonele variațiilor bruște de secțiune, denumite concentratori, care produc o stare de tensiune favorabilă unor comportări ale materialului deosebite de comportarea sa în zone fără concentratori.

Pentru a ține seama de efectul acestor concentratori existenți la majoritatea organelor de mașini, s-a introdus în calculul de rezistență coeficientul de formă $\alpha_\sigma$, definit ca raportul între tensiunea longitudinală maximă de la baza crestăturii $\sigma_{1\,max}$ (*fig. 1*) și tensiunea nominală $\sigma_n$ din secțiunea încrestată : $\alpha_\sigma = \frac{\sigma_{1\,max}}{\sigma_n}$.

Determinarea valorii coeficientului de formă este foarte dificilă, avînd în vedere, pe de o parte, metodele existente de investigație, iar pe de altă parte varietatea mare a formelor concentratorilor și a factorilor care influențează această mărime [1], [2], [3].

Influența concentratorilor de descărcare asupra stării de tensiune din concentratorul propriu-zis, dependentă de elementele geometrice ale ansamblului de concentratori, este parțial cunoscută, fiind stabilit că prin introducerea concentratorilor de descărcare interpedendența dintre mărimile care determină comportarea elementului solicitat devine și mai complexă.

In această lucrare se examinează experimental efectul anumitor configurații geometrice de concentratori, asupra evoluției stării de tensiune și a caracterului ruperii epruvetelor din trei sortimente de oțeluri solicitate static la întindere, analizînd rezultatele obținute în lumina unor ipoteze asupra procesului de rupere a materialelor.

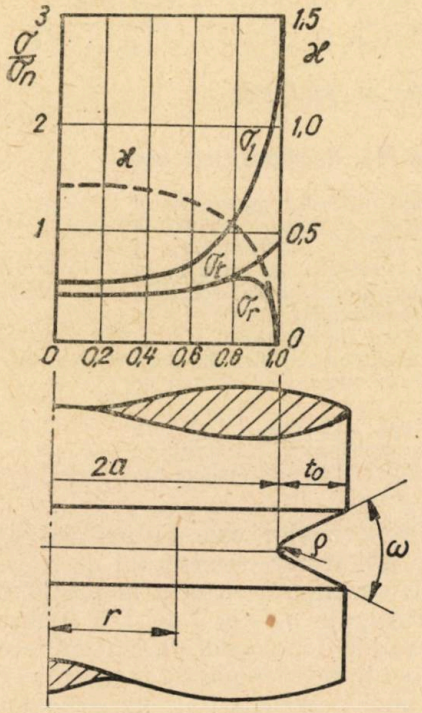



*Fig. 1.* Variația efortului unitar normal longitudinal $\sigma_e$, radial $\sigma_r$ și tangențial $\sigma_t$, precum și a cifrei de multiaxialitatea $\varkappa$ funcție de raportul $\sigma/a$ pentru o epruvetă cilindrică cu $\alpha_\sigma=7{,}2$ (după Kochendörfer).

## 1. Observații asupra caracterului ruperii epruvetelor cu crestături

Cercetări recente au arătat că influența crestăturilor asupra rezistenței de rupere a pieselor nu se manifestă numai prin vîrful de tensiune de la baza crestăturii, caracterizat prin $\alpha_\sigma$ [3], ci și prin starea triaxială de tensiune provocată de acest concentrator, de cedarea plastică din concentrator și de gradientul tensiunii din zona bazei încrestării [4].

*1.1.* Intensitatea triaxialității stării de tensiune, exprimată prin coeficientul $\varkappa$, se definește, după Kochendörfer [5], ca fiind

$$\varkappa = 1 - \frac{\sigma_{comp\,(i)}}{\sigma_1}, \qquad (1)$$

unde $\sigma_{comp(i)}$ este tensiunea de comparație după teoria de rezistență admisă în calcule pentru materialul respectiv.

In baza teoriei tensiunii tangențiale maxime se obține

$$\varkappa = \frac{\sigma_3}{\sigma_1}. \qquad (2)$$

Folosind teoria energiei variației de formă, mai exactă decît cea a tensiunii tangențiale maxime, rezultă pentru $\varkappa$ următoarea expresie:

$$\varkappa = 1 - \sqrt{\frac{1}{2\sigma_1^2}[(\sigma_1-\sigma_2)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^2+(\sigma_3-\sigma_1)^2]}. \qquad (3)$$

Valorile obținute prin aceste două expresii sînt foarte puțin diferite între ele, iar pentru cazurile-limită sînt identice.

Influența stării de tensiune asupra rezistenței materialului se poate scoate în evidență analizînd natura distrugerii materialului. Se știe că în general distrugerea unei piese poate avea loc printr-o rupere de separație sau o rupere de alunecare. Se obține o rupere prin separație dacă tensiunile normale ating valoarea rezistenței de smulgere (de coeziune) înaintea momentului atingerii valorii rezistenței de forfecare de către tensiunea tangențială maximă. În caz contrar se obține o rupere prin alunecare (de forfecare).

Rezistența de rupere prin alunecare este în general mai mică decît rezistența de rupere prin separație, fapt pentru care intensitatea deformației de rupere este diferită de zero, chiar la materiale fragile [6]. Deformațiile de alunecare apar pentru o anumită valoare a tensiunii tangențiale maxime [7], care are expresia

$$\tau_c = \tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

pentru starea triaxială de tensiune.

Rezultă că o dată cu apariția lui $\sigma_3$, adică a stării triaxiale de tensiune, efortul unitar normal maxim $\sigma_1$ (pentru care $\tau_{max} = \tau_c$) crește dacă $\sigma_3 > 0$. Deci o dată cu creșterea efortului unitar $\sigma_3$ (relația 2) și deci a coeficientului $\varkappa$, natura ruperii se deplasează spre domeniul ruperii prin separație și prin aceasta apare o rezistență de rupere mai ridicată. Rezultă deci că influența crestăturilor se concretizează prin două tendințe opuse ca sens: pe de o parte provoacă un vîrf de tensiune, ceea ce ar fi echivalent cu o reducere a rezistenței de rupere prin separație, deci o influență negativă, iar pe de altă parte starea de tensiune provocată de acest concentrator deplasează natura ruperii spre ruperea prin separație, ceea ce s-ar putea echivala cu o mărire a rezistenței de rupere prin alunecare, adică o influență pozitivă asupra rezistenței piesei. Este de așteptat ca, la materialele cu o tendință naturală de rupere prin alunecare, influența deplasării naturii ruperii să fie mai puternică decît cea a vîrfului de tensiune și astfel rezistența de rupere în zona concentratorului să crească în raport cu cea determinată pe epruveta standard în cazul solicitării statice $\sigma_{ra}/\sigma_r > 1$, unde $\sigma_{ra}$ este rezistența la rupere cu concentrator și $\sigma_r$ rezistența la rupere fără concentrator. Această situație este confirmată de experiență. Pe măsură ce se accentuează tendința de rupere prin separație a epruvetei standard, acest raport ar trebui să scadă, iar în cazul materialelor la care și epruveta standard se distruge printr-o rupere de separație să atingă un minim. Valoarea minimă a rapor-

tului $\sigma_{ra}/\sigma_r$ va depinde însă de contracţia transversală la rupere a materialului respectiv, care intervine prin valoarea rezistenţei de rupere $\sigma_r$. Acest raport va deveni subunitar şi va reflecta numai influenţa vîrfului de tensiune doar în cazul unui material cu contracţia transversală de rupere egală cu zero, deoarece în acest caz convenţia făcută la definirea rezistenţei de rupere ($\sigma_r$) nu va mai influenţa şi deci rezistenţa de rupere convenţională $\sigma_r$ devine egală cu cea reală $\sigma_{rr}$ ($\sigma_r = \sigma_{rr}$, respectiv $\sigma_{ra} = \sigma_{rra}$). La materialele uzuale, contracţia transversală la rupere este diferită de zero. Cedarea plastică la baza crestăturii produce mărirea razei de racordare şi în acest fel se reduce vîrful de tensiune şi se micşorează coeficientul $\varkappa$, aşa cum rezultă din *figura 2* (după Kochendörfer) [4].

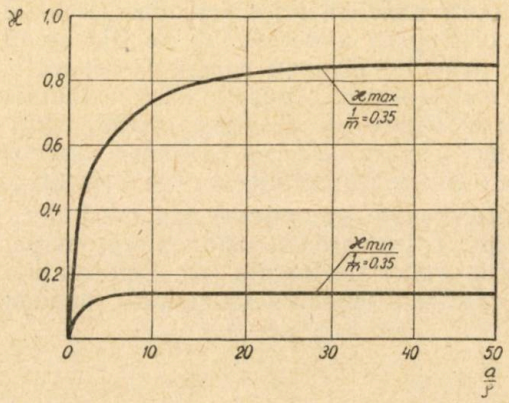



*Fig. 2.*

Pentru materiale de rezistenţă mică, valoarea lui $\tau_c$ este mai redusă, cedarea plastică mai accentuată, variaţia razei de racordare mai mare, deci la astfel de materiale deplasarea naturii ruperii spre ruperea de separaţie va fi frînată de aceste fenomene. Cedarea plastică fiind mai pronunţată la oţelurile de rezistenţă mică, iar oţelurile de rezistenţă ridicată avînd o tendinţă naturală mai accentuată spre rupere prin separaţie independent de efectul crestăturii, se formulează întrebarea la care materiale va fi mai pronunţată influenţa stării de tensiune provocată de concentrator ? Această întrebare îşi va găsi răspunsul în cursul încercărilor ale căror rezultate sînt expuse în această lucrare.

*1.2.* Pe baza consideraţiilor făcute trebuie analizată şi influenţa concentratorilor de descărcare în domeniul solicitărilor de întindere statică. Problema devine foarte importantă dacă se ţine seama că prin introducerea metodei de calcul pe baza rezistenţei de formă [8] se face uz de coeficientul de formă $\alpha_\sigma$ şi de raportul limitelor deformaţiilor specifice $\delta_\varepsilon$, prin care în calcul se acceptă o deformaţie specifică plastică limită la baza crestăturii. Pentru a ţine cont de efectul concentratorilor de descărcare se indică folosirea diagramei (*fig. 3*) din [8] prin care se înlocuieşte efectul adîncimii reale a crestăturii cu efectul unei adîncimi corectate $t_\omega = t \cdot \gamma$, unde $\gamma$ este un coeficient de descărcare dat de relaţia $\gamma = \sqrt{\frac{\lambda}{\pi t} \operatorname{cth} \frac{\lambda}{\pi t}}$. Relaţia $\gamma = f(\lambda/t)$ ($\lambda$ ; t vezi în tabela 1) folosită la ridicarea acestei diagrame, a fost dedusă prin calcul numai pe baza geometriei concentratorilor de bază şi de descărcare pentru cazul solicitării de torsiune [1], dar în lipsă de alte date ea este folosită şi în cazul celorlalte tipuri de solicitare [8]. Dezavantajul acestei metode

constă în folosirea lui $\alpha_\sigma$, care nu reflectă influența multiaxialității stării de tensiune provocate de concentrator, precum și în folosirea coeficientului de descărcare $\gamma$, care, chiar dacă ar fi determinat pentru toate tipurile de solicitare, caută să adapteze la noua situație mărimea $\alpha_\sigma$, care însă nu reflectă în întregime fenomenele de bază din secțiunea epruvetei în dreptul concentratorilor, așa cum s-a arătat la început.

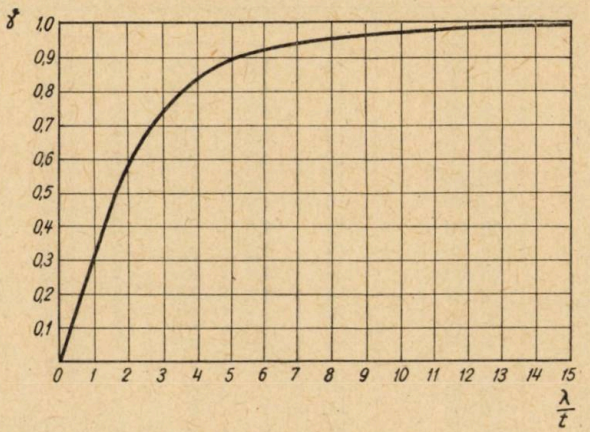



*Fig. 3.*

Concentratorul de descărcare poate influența atît vîrful de tensiune caracterizat prin coeficientul de formă $\alpha_\sigma^*$, cît și multiaxialitatea stării de tensiune, caracterizată prin $\varkappa$. Prin calculele făcute de Neuber [1] și Höschl [9] se ajunge la valori mai mici pentru coeficientul de formă în cazul existenței concentratorilor de descărcare. Rezultatele obținute prin aceste calcule pe baza geometriei concentratorilor, folosind dimensiunile raportate ale acestora $\left(\frac{a}{\rho}; \frac{t}{\rho}; \frac{t}{t_0}; \frac{\lambda}{t_0}\right.$; [1], [9], [8], notațiile fiind cele din tabela 1$\left.\right)$, duc la rezultate sensibil diferite, însă amîndouă conduc, pentru orice configurații de concentratori, la micșorarea lui $\alpha_\sigma$, neținînd cont de influența lui $\varkappa$. Influența globală a concentratorilor de descărcare asupra mărimilor $\alpha_\sigma$ și $\varkappa$ poate fi favorabilă sau nefavorabilă în raport cu rezistența epruvetei prevăzute numai cu concentratorul de bază, depinzînd de intensitatea și de sensul influenței lor.

## 2. STUDIUL EXPERIMENTAL

### 2.1. Materiale și metode de investigație utilizate

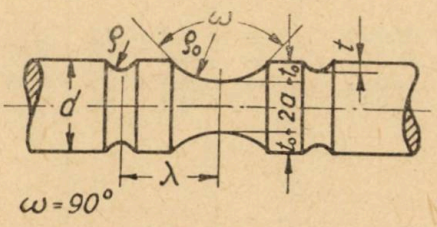
Pentru a scoate în evidență influența concentratorilor de bază și a celor de descărcare asupra rezistenței epruvetei solicitate la tracțiune, ținînd cont atît de vîrful de tensiune, de starea triaxială de tensiune și de cedarea plastică de la baza crestăturii, s-au efectuat încercări pe șase serii de epruvete, conform tabelei 1.

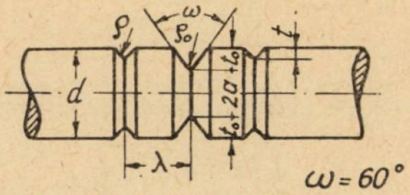
Materialele folosite pentru confecționarea epruvetelor au fost : OL 38, OLC 35 și 41 MoC 11, precum și araldit B. Forma, dimensiunile și notațiile

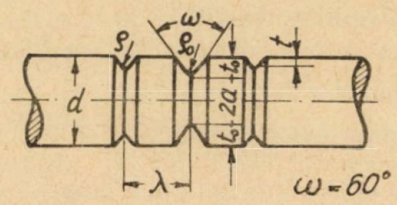
| Seria și nr. epruvetei | Material | d mm | a mm | $t_0$ mm | $\varrho_0$ mm | $\lambda$ mm | t mm | $\varrho$ mm | $\lambda/t_0$ | $t/t_0$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $A_0$ | OL 38 | 10 | — | — | — | epruveta standard | | | | |
| $A_1$ | OL 38 | 14 | 4,5 | 2,5 | 2 | fără concentr. de descărc. | | | | |
| $A_2$ | OL 38 | 14 | 4,5 | 2,5 | 2 | 5 | 1,5 | 1,5 | 2,0 | 0,6 |
| $A_3$ | OL 38 | 14 | 4,5 | 2,5 | 2 | 6 | 1,5 | 1,5 | 2,4 | 0,6 |
| $A_4$ | OL 38 | 14 | 4,5 | 2,5 | 2 | 7 | 1,5 | 1,5 | 2,8 | 0,6 |
| $A_5$ | OL 38 | 14 | 4,5 | 2,5 | 2 | 8 | 1,5 | 1,5 | 3,2 | 0,6 |
| $A_6$ | OL 38 | 14 | 4,5 | 2,5 | 2 | 9 | 1,5 | 1,5 | 3,6 | 0,6 |
| $A_7$ | OL 38 | 14 | 4,5 | 2,5 | 2 | 10 | 1,5 | 1,5 | 4,0 | 0,6 |
| $A_8$ | OL 38 | 14 | 4,5 | 2,5 | 2 | 11 | 1,5 | 1,5 | 4,4 | 0,6 |
| $A_9$ | OL 38 | 14 | 4,5 | 2,5 | 2 | 12 | 1,5 | 1,5 | 4,6 | 0,6 |
| $A_{10}$ | OL 38 | 14 | 4,5 | 2,5 | 2 | 13 | 1,5 | 1,5 | 5,2 | 0,6 |
| $A_{11}$ | OL 38 | 14 | 4,5 | 2,5 | 2 | 14 | 1,5 | 1,5 | 5,6 | 0,6 |
| $A_{12}$ | OL 38 | 14 | 4,5 | 2,5 | 2 | 15 | 1,5 | 1,5 | 6,0 | 0,6 |
| $A_{13}$ | OL 38 | 14 | 4,5 | 2,5 | 2 | 16 | 1,5 | 1,5 | 6,4 | 0,6 |
| $B_0$ | OL 38 | 10 | — | — | — | epruveta standard | | | | |
| $B_1$ | OL 38 | 18 | 5 | 4 | 0,2 | fără concentr. de descărc. | | | | |
| $B_2$ | OL 38 | 18 | 5 | 4 | 0,2 | 4,25 | 2,5 | 0,2 | 1,06 | 0,625 |
| $B_3$ | OL 38 | 18 | 5 | 4 | 0,2 | 4,50 | 2,5 | 0,2 | 1,13 | 0,625 |
| $B_4$ | OL 38 | 18 | 5 | 4 | 0,2 | 4,75 | 2,5 | 0,2 | 1,19 | 0,625 |
| $B_5$ | OL 38 | 18 | 5 | 4 | 0,2 | 5,00 | 2,5 | 0,2 | 1,25 | 0,625 |
| $B_6$ | OL 38 | 18 | 5 | 4 | 0,2 | 5,25 | 2,5 | 0,2 | 1,31 | 0,625 |
| $B_7$ | OL 38 | 18 | 5 | 4 | 0,2 | 5,50 | 2,5 | 0,2 | 1,37 | 0,625 |
| $B_8$ | OL 38 | 18 | 5 | 4 | 0,2 | 5,75 | 2,5 | 0,2 | 1,44 | 0,625 |
| $B_9$ | OL 38 | 18 | 5 | 4 | 0,2 | 6,00 | 2,5 | 0,2 | 1,50 | 0,625 |
| $B_{10}$ | OL 38 | 18 | 5 | 4 | 0,2 | 7,25 | 2,5 | 0,2 | 1,81 | 0,625 |
| $B_{11}$ | OL 38 | 18 | 5 | 4 | 0,2 | 7,50 | 2,5 | 0,2 | 1,87 | 0,625 |
| $B_{12}$ | OL 38 | 18 | 5 | 4 | 0,2 | 7,75 | 2,5 | 0,2 | 1,94 | 0,625 |
| $B_{13}$ | OL 38 | 18 | 5 | 4 | 0,2 | 8,00 | 2,5 | 0,2 | 2,00 | 0,625 |
| $C_0$ | OLC 35 | 10 | — | — | — | epruveta standard | | | | |
| $C_1$ | OLC 35 | 18 | 5 | 4 | 0,2 | fără concentr. de descărc. | | | | |
| $C_2$ | OLC 35 | 18 | 5 | 4 | 0,2 | 6,00 | 2,5 | 0,2 | 1,50 | 0,625 |
| $D_0$ | 41 MoC 11 | 10 | — | — | — | epruveta standard | | | | |
| $D_1$ | 41 MoC 11 | 18 | 5 | 4 | 0,2 | fără concentr. de descărc. | | | | |
| $D_2$ | 41 MoC 11 | 18 | 5 | 4 | 0,2 | 4,25 | 2,5 | 0,2 | 1,06 | 0,625 |
| $D_3$ | 41 MoC 11 | 18 | 5 | 4 | 0,2 | 4,50 | 2,5 | 0,2 | 1,13 | 0,625 |
| $D_4$ | 41 MoC 11 | 18 | 5 | 4 | 0,2 | 4,75 | 2,5 | 0,2 | 1,19 | 0,625 |
| $D_5$ | 41 MoC 11 | 18 | 5 | 4 | 0,2 | 5,00 | 2,5 | 0,2 | 1,25 | 0,625 |
| $D_6$ | 41 MoC 11 | 18 | 5 | 4 | 0,2 | 5,25 | 2,5 | 0,2 | 1,31 | 0,625 |
| $D_7$ | 41 MoC 11 | 18 | 5 | 4 | 0,2 | 5,50 | 2,5 | 0,2 | 1,37 | 0,625 |
| $D_8$ | 41 MoC 11 | 18 | 5 | 4 | 0,2 | 5,75 | 2,5 | 0,2 | 1,44 | 0,625 |
| $D_9$ | 41 MoC 11 | 18 | 5 | 4 | 0,2 | 6,00 | 2,5 | 0,2 | 1,50 | 0,625 |
| $D_{10}$ | 41 MoC 11 | 18 | 5 | 4 | 0,2 | 7,25 | 2,5 | 0,2 | 1,81 | 0,625 |
| $D_{11}$ | 41 MoC 11 | 18 | 5 | 4 | 0,2 | 7,50 | 2,5 | 0,2 | 1,87 | 0,625 |
| $D_{12}$ | 41 MoC 11 | 18 | 5 | 4 | 0,2 | 7 75 | 2,5 | 0,2 | 1,94 | 0,625 |
| $D_{13}$ | 41 MoC 11 | 18 | 5 | 4 | 0,2 | 8.00 | 2,5 | 0,2 | 2,00 | 0,625 |

*Tabela 1*

| $a/\varrho_0$ | $\alpha_\sigma$ *) | $\alpha_\sigma$ **) | Schița epruvetei |
|---|---|---|---|
| — | 1,00 | 1,00 | |
| 2,25 | 1,65 | 1,94 | |
| 2,25 | 1,65 | 1,94 | |
| 2,25 | 1,65 | 1,94 | |
| 2,25 | 1,65 | 1,94 | |
| 2,25 | 1,65 | 1,94 | |
| 2,25 | 1,65 | 1,94 | |
| 2,25 | 1,65 | 1,94 | |
| 2,25 | 1,65 | 1,94 | |
| 2,25 | 1,65 | 1,94 | |
| 2,25 | 1,65 | 1,94 | |
| 2,25 | 1,65 | 1,94 | |
| 2,25 | 1,65 | 1,94 | |
| 2,25 | 1,65 | 1,94 | |
| — | 1,0 | 1,00 | |
| 25 | 4,1 | 5,16 | |
| 25 | 4,1 | 5,16 | |
| 25 | 4,1 | 5,16 | |
| 25 | 4,1 | 5,16 | |
| 25 | 4,1 | 5,16 | |
| 25 | 4,1 | 5,16 | |
| 25 | 4,1 | 5,16 | |
| 25 | 4,1 | 5,16 | |
| 25 | 4,1 | 5,16 | |
| 25 | 4,1 | 5,16 | |
| 25 | 4,1 | 5,16 | |
| 25 | 4,1 | 5,16 | |
| 25 | 4,1 | 5,16 | |
| — | 1,0 | 1,00 | |
| 25 | 4,1 | 5,16 | |
| 25 | 4,1 | 5,16 | |
| — | 1,0 | 1,00 | |
| 25 | 4,1 | 5,16 | |
| 25 | 4,1 | 5,16 | |
| 25 | 4,1 | 5,16 | |
| 25 | 4,1 | 5,16 | |
| 25 | 4,1 | 5,16 | |
| 25 | 4,1 | 5,16 | |
| 25 | 4,1 | 5,16 | |
| 25 | 4,1 | 5,16 | |
| 25 | 4,1 | 5,16 | |
| 25 | 4,1 | 5,16 | |
| 25 | 4,1 | 5,16 | |
| 25 | 4,1 | 5,16 | |
| 25 | 4,1 | 5,16 | |



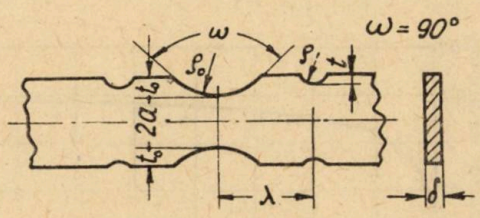
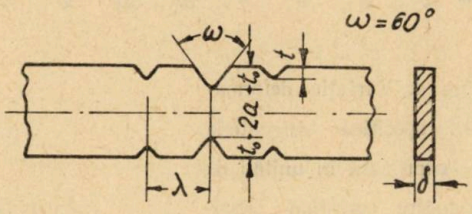
| Seria și nr. epruvetei | Material | d mm | a mm | $t_0$ mm | $\varrho_0$ mm | $\lambda$ mm | t mm | $\varrho$ mm | $\lambda/t_0$ | $t/t_0$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $E_1$ | Araldit | — | 5,8 | 3,2 | 2,58 | fără concentr. de desc. | | | | |
| $E_2$ | Araldit | — | 5,8 | 3,2 | 2,58 | 7 | 1,92 | 1,92 | 2,2 | 0,600 |
| $E_3$ | Araldit | — | 5,8 | 3 2 | 2,58 | 11 | 1,92 | 1,92 | 3,44 | 0,600 |
| $E_4$ | Araldit | — | 5,8 | 3,2 | 2,58 | 21 | 1 92 | 1,92 | 6,56 | 0,600 |
| $F_1$ | Araldit | — | 5 | 4 | 0,2 | fără concentr. de desc. | | | | |
| $F_2$ | Araldit | — | 5 | 4 | 0,2 | 4,25 | 2,5 | 0,2 | 1,06 | 0,625 |
| $F_3$ | Araldit | — | 5 | 4 | 0,2 | 6,50 | 2,5 | 0,2 | 1,62 | 0,625 |
| $F_4$ | Araldit | — | 5 | 4 | 0,2 | 8,00 | 2,5 | 0,2 | 2,00 | 0,625 |

*) *Calculat după Neuber [1]: în cazul unei crestături circulare adînci la solicitare de întindere pură, calculul coeficientului de formă se face cu următoarea relație:*

$$\alpha_\sigma = \frac{\sigma_1}{p} = \frac{1}{N}\left[\frac{a}{\varrho}\sqrt{\frac{a}{\varrho}+1} + \left(0{,}5+\frac{1}{m}\right)\sqrt{\frac{a}{\varrho}+1} + \left(1+\frac{1}{m}\right)\left(\sqrt{\frac{a}{\varrho}+1}+1\right)\right],$$

folosite referitoare la epruvete rezultă din coloanele și din figurile tabelei 1. Examinările s-au făcut la întindere statică, la temperatura mediului ambiant pentru toate seriile de epruvete. Deoarece la epruvetele cilindrice de tracțiune este determinată atît starea de tensiune, cît și cea de deformație dacă sînt îndeplinite condițiile de margine, pentru suprafața crestăturii se poate exprima univoc deformația specifică tangențială, care este accesibilă și măsurătorilor experimentale [5]. După aceeași lucrare, relația $\varepsilon_t = f\left(\frac{a}{\varrho}\right)$ se poate reprezenta ca în *figura 4*. Pe baza diagramelor din *figurile 2* și *4* s-a construit o diagramă (*fig. 5*) care reflectă interdependența dintre coeficientul $\varkappa$ și deformația specifică tangențială $\varepsilon_t$, relație importantă pentru metoda de investigație folosită. Din această diagramă rezultă că o dată cu creșterea coeficientului $\varkappa$ de la valoarea zero spre valoarea 1 crește și valoarea defor-

*Tabela 1* (continuare)

| $a/\varrho_0$ | $\alpha_\sigma$ *) | $\alpha_\sigma$ **) | Schița epruvetei |
|---|---|---|---|
| 2,25 | 1,65 | 1,94 |  |
| 2,25 | 1,65 | 1,94 | |
| 2,25 | 1,65 | 1,94 | |
| 2,25 | 1,65 | 1,94 | |
| 25 | 4,1 | 5,16 |  |
| 25 | 4,1 | 5,16 | |
| 25 | 4,1 | 5,16 | |
| 25 | 4,1 | 5,16 | |

*unde*

$$N = \frac{a}{\rho} + \frac{2}{m}\sqrt{\frac{a}{\rho} + 1} + 2 \cdot$$

*Dar pentru crestăturile reale, valorile coeficientului de formă după Neuber se scot în mod curent din nomograma dată în acest scop [1].*

**) *Calculat după A. Thum [11].*

mației specifice tangențiale din domeniul valorilor negative spre cel al valorilor pozitive. Deformația specifică $\varepsilon_t = \frac{\Delta D}{D}$ ($\Delta D$ este diametrul epruvetei în dreptul concentratorului) putînd deveni deci chiar și pozitivă, rezultă că creșterea stării triaxiale de tensiune, caracterizată prin $\varkappa$, reduce contracția transversală a epruvetelor întinse, deci și în domeniul deformațiilor plastice mici deformația specifică tangențială poate fi admisă ca măsură pentru intensitatea medie a triaxialității stării de tensiune.

Pentru determinarea experimentală a deformației specifice tangențiale $\varepsilon_t$ s-a măsurat variația diametrului epruvetei la baza crestăturii ($\Delta D$) prin fotografierea crestăturii la diferite trepte de încărcare în domeniul elastic și măsurarea cu un comparator de miime prevăzut cu palpatoare-cuțit în domeniul deformațiilor plastice mici pînă la ruperea epruvetei. Clișeele s-au realizat în condiții de contrast maxim, pe film cu granulație foarte fină.

Măsurarea clişeelor s-a făcut pe microscop, obţinînd o precizie de ±0,002 mm. La măsurările cu comparatorul de miime s-a putut asigura o precizie de ±0,003 mm, ceea ce la deformaţiile măsurate reprezintă o eroare de la circa

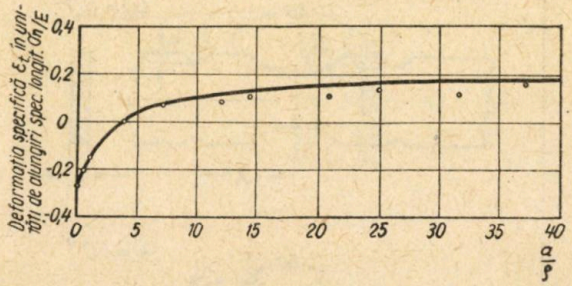



*Fig. 4.* Variaţia deformaţiei specifice tangenţiale $\varepsilon$ exprimată în unităţi de alungire specifică longitudinală $\sigma_r/E$ funcţie de raportul $a/\rho$ (după Kochendörfer).

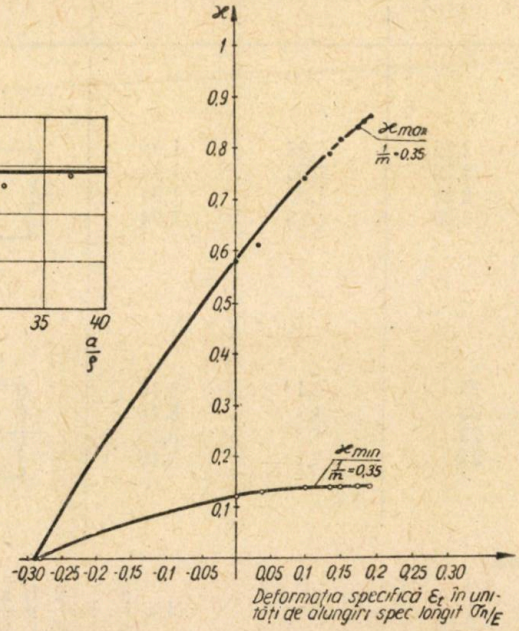



*Fig. 5.* Reprezentarea grafică a interdependenţei între cifra de multiaxialitate x şi deformaţia specifică tangenţială $\varepsilon_t$ exprimată în unităţi de alungire specifică longitudinală $\sigma_r/E$.

±2% pentru epruvetele de OL 38 şi pînă la ±5% pentru epruvetele din oţel 41 MoC 11. Aceste precizii se consideră suficiente pentru scopul urmărit în lucrare.

## 2.2. Rezultatele experimentale

Fundamentarea consideraţiilor teoretice făcute la punctul 1 s-a făcut organizînd o cercetare experimentală pe materialul expus în tabela 1, urmărindu-se parametrii specifici care reflectă evoluţia stării de tensiune şi caracterul ruperii în dreptul concentratorului de bază.

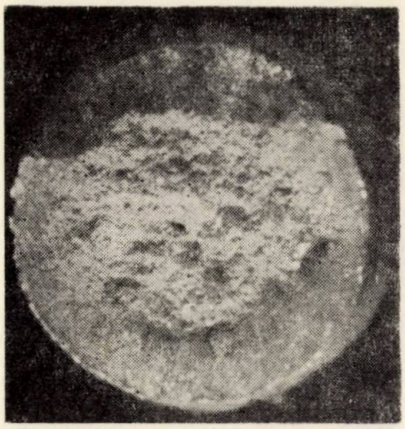


*Fig. 6.* Suprafața de rupere a epruvetei standard OL 38 $\alpha_\sigma=1$ ; $a/\rho_0=0$.

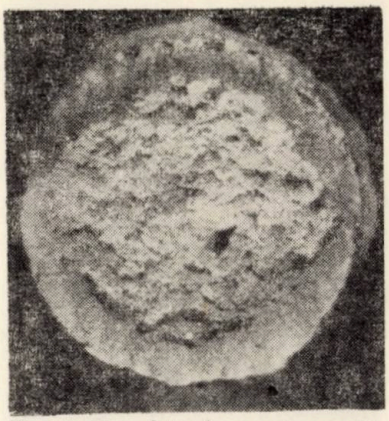


*Fig. 7.* Suprafața de rupere a epruvetei OL 38 cu crestătură de bază $\alpha_\sigma=1{,}65$ ; $a/\rho_0=2{,}25$.

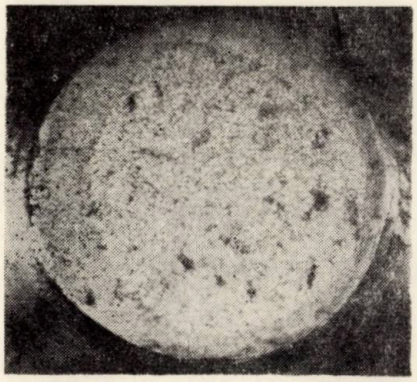


*Fig. 8.* Suprafața de rupere a epruvetei OL 38 cu concentrator de bază cu $\alpha_\sigma=4{,}1$ ; $a/\rho_0=25$.

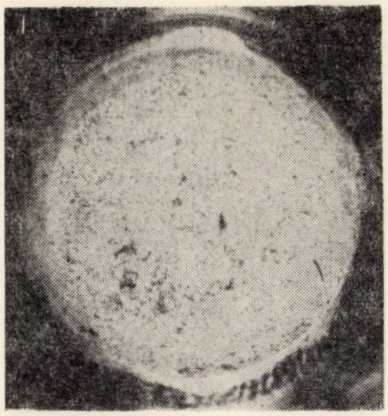


*Fig. 9.* Suprafața de rupere a epruvetei OLC 35 cu concentrator de bază cu $\alpha_\sigma=4{,}1$ ; $a/\rho_0=25$.

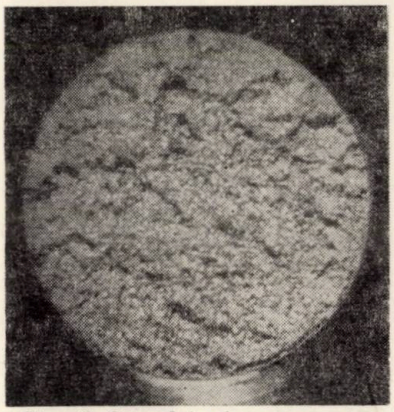
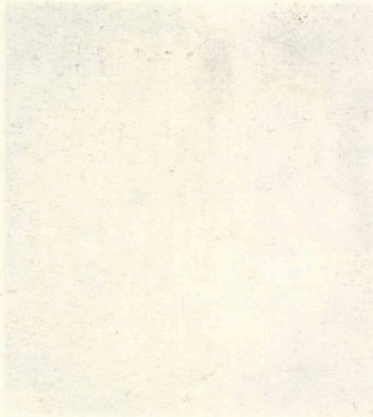
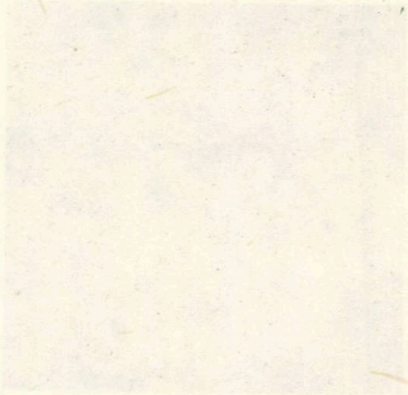


*Fig. 10.* Suprafața de rupere a epruvetei din oțel 40 MoC 11 cu concentrator de bază cu $\alpha_\sigma=4{,}1$ ; $a/\rho_0=25$.

*2.2.1. Examinarea secțiunilor de rupere.* Pentru a urmări modificarea caracterului ruperii în funcție de configurația geometrică a concentratorilor la diferite materiale, s-au fotografiat aceste secțiuni, evaluîndu-se mărimile:

$S^0/_0$ — aria zonei de rupere prin separație, exprimată în procente față de aria totală a secțiunii de rupere,

$\psi^0/_0$ — contracția transversală procentuală la rupere,

$\sigma_{ra}$ — tensiunea de rupere din secțiunea de încrestare a epruvetei cu concentrator de bază,

$\sigma_{rr}$ — tensiunea de rupere reală a epruvetei standard,

$\sigma_{rad}$ — tensiunea de rupere a epruvetei cu concentrator de bază și concentrator de descărcare.

Rezultatele sînt cuprinse în tabela 2.

*Tabela 2*

| | Material / $\alpha_\sigma$ | OL 38 | | | | OLC 35 | | | | 41 MoC 11 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $\psi$ % | S % | $\sigma_{ra}$ kgf/cm² | $\sigma_{rr}$ kgf/cm² | $\psi$ % | S % | $\sigma_{ra}$ kgf/cm² | $\sigma_{rr}$ kgf/cm² | $\varphi$ % | S % | $\sigma_{ra}$ kgf/cm² | $\sigma_{rr}$ kgf/cm² |
| a | 1,00 | 60,2 | 44,3 | 4 440 | 9 500 | 52,2 | 61 | 5 500 | 9 300 | 30,2 | 99,5 | 11 500 | 16 100 |
| b | 1,65 | 39,7 | 51,2 | 6 750 | 11 250 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| c | 4,10 | 15,5 | 79,8 | 7 270 | 8 300 | 6,0 | 84 | 7 680 | 8 150 | 3,96 | 100 | 13 400 | 13 550 |

În *figurile 6, 7, 8, 9* și *10* sînt redate aspectele ruperii epruvetelor din OL 38, OLC 35 și 41 MoC 11, avînd crestături cu $\alpha = 1$ ; 1,65 și 4,1 calculate după [1]. Din aceste figuri și din tabela 2 rezultă deplasarea naturii ruperii în funcție de felul crestăturii și de natura materialului.

*Figurile 6, 7* și *8* reprezintă ruperile unor epruvete din OL 38 pentru care coeficientul de formă $\alpha_\sigma$ ia valorile 1 (epruveta standard), 1,65 și 4,1 (după [1]), iar coeficientul $\varkappa$, calculat pe baza ipotezei energiei modificatoare de formă (relația (3)), ia valorile zero (pentru epruveta standard), 0,42 și 0,82 (fig. 2). Din aspectul secțiunilor de rupere ale epruvetelor și din tabela 2, coloanele 1 și 2, rezultă că o dată cu creșterea coeficientului $\varkappa$ scade considerabil contracția transversală procentuală la rupere $\psi$% și crește foarte mult zona de rupere prin separație S%. Se vede că deplasarea naturii ruperii este cu atît mai accentuată, cu cît crestătura este mai ascuțită, deci cu cît $\varkappa$ crește. Datorită acestei deplasări, rezultă însă o creștere a rezistenței de rupere (tabela 2, coloana 3) și nu o scădere a ei datorită creșterii lui $\alpha_\sigma$, cum se presupune în calcul după metoda rezistenței de formă. Din *figurile 6, 7* și *8* și din tabela 2 mai rezultă că și pentru un oțel moale se poate admite că distrugerea la întindere statică, la temperatura mediului ambiant, se produce printr-o rupere de separație dacă $\varkappa$ este mai mare decît o valoare considerată limită. Pentru o epruvetă din OL 38 cu $\alpha_\sigma = 4{,}1$ ; $a/\rho = 25$ și $\varkappa_{max} = 0{,}82$ *(fig. 2)*, ruperea prin separație a fost hotărîtoare: $S \cong 80\%$.

Influenţa materialului asupra deplasării naturii ruperii rezultă din *figurile 8, 9, 10* şi din tabela 2, rîndurile *a* şi *c*. Rezultă că pentru acelaşi coeficient de formă $\alpha_\sigma$, dar calităţi diferite de material, ruperea prin separaţie (deci S%) este mai accentuată la materialele cu rezistenţă ridicată. Această comportare se explică tocmai prin valorile diferite ale mărimii $\tau_c$ pentru aceste materiale şi, pe de altă parte, prin deformaţiile plastice diferite apărute la baza crestăturii, care la rîndul lor influenţează coeficientul $\varkappa$.

*2.2.2. Curbele experimentale* $\varepsilon_t = f(\sigma_r)$. Din cele arătate decurge justificarea reprezentării influenţei globale a concentratorilor printr-o influenţă pozitivă a triaxialităţii stării de tensiune şi una negativă a vîrfului de tensiune de la baza crestăturii. Deci influenţa crestăturilor de descărcare poate fi pozitivă sau negativă în raport cu comportarea piesei prevăzute cu concentratorul de bază, depinzînd de felul cum aceşti concentratori de descărcare influenţează mărimile $\varkappa$ şi $\alpha_\sigma$. Pentru a urmări această influenţă s-au reprezentat curbele din *figurile 11, 12, 13* şi *14*, care arată variaţia deformaţiei specifice tangenţiale $\varepsilon_t = f(\sigma_r)$ pentru epruvetele din seria A, B, C şi D (tabela 1). Notaţiile folosite pentru deformaţiile specifice tangenţiale sînt următoarele:

$\varepsilon_t$ — deformaţia specifică tangenţială a epruvetei standard,

$\varepsilon_{t\alpha}$ — deformaţia specifică tangenţială pentru epruvete avînd numai concentratorul de bază,

$\varepsilon_{t\alpha d}$ — deformaţia specifică tangenţială pentru epruvete cu concentrator de bază şi concentrator de descărcare.

Din aceste diagrame rezultă influenţa concentratorului de bază şi a celor de descărcare asupra variaţiei deformaţiei specifice tangenţiale în funcţie de tensiunea nominală. Analizînd diagramele din *figurile 11, 12, 13* şi *14*, rezultă că pentru toate materialele şi formele de concentratori folosite în această lucrare, deformaţia specifică tangenţială $\varepsilon_t$ este cea mai mică, ca valoare algebrică, în cazul epruvetei standard şi cea mai mare pentru epruveta avînd numai crestătură de bază. Deformaţia specifică tangenţială a epruvetei cu concentratori de descărcare este mai mică decît cea a epruvetei avînd numai concentratorul de bază, ceea ce, după *figura 5*, arată că concentratorii de descărcare duc la o scădere a triaxialităţii stării de tensiune în zona concentratorului de bază, deci deplasarea naturii ruperii spre domeniul ruperii prin separaţie va fi mai puţin accentuată.

*2.2.3. Curbele experimentale* $\sigma_{rad} = f(\lambda/t_0)$. Din *figurile 15, 16* şi *17* rezultă variaţia tensiunilor de rupere $\sigma_{rad}$ în comparaţie cu $\sigma_{r\alpha}$ şi $\sigma_r$. Indicii $\alpha$ şi $\alpha d$ au aceeaşi semnificaţie ca şi la deformaţia specifică $\varepsilon$. Se vede că această funcţie depinde atît de calitatea materialului, cît şi de forma concentratorului. Conform consideraţiilor de la punctul 1, la oţelurile moi, unde influenţa deplasării naturii ruperii este hotărîtoare, existenţa concentratorilor de descărcare va duce la o micşorare a rezistenţei de rupere faţă de cea a epruvetei avînd numai concentratorul de bază. Aceasta se confirmă prin *figurile 15* şi

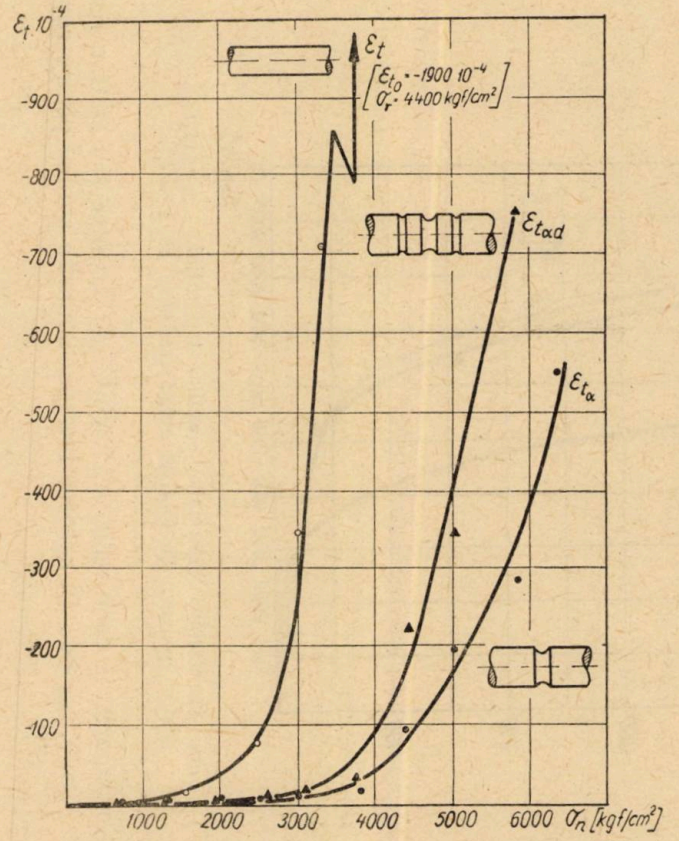



*Fig. 11.* Variația deformației specifice tangențiale $\varepsilon = f(\sigma_n)$ pentru epruvete din oțel moale OL 38 avînd crestături cu $\alpha_\sigma = 1{,}65$.

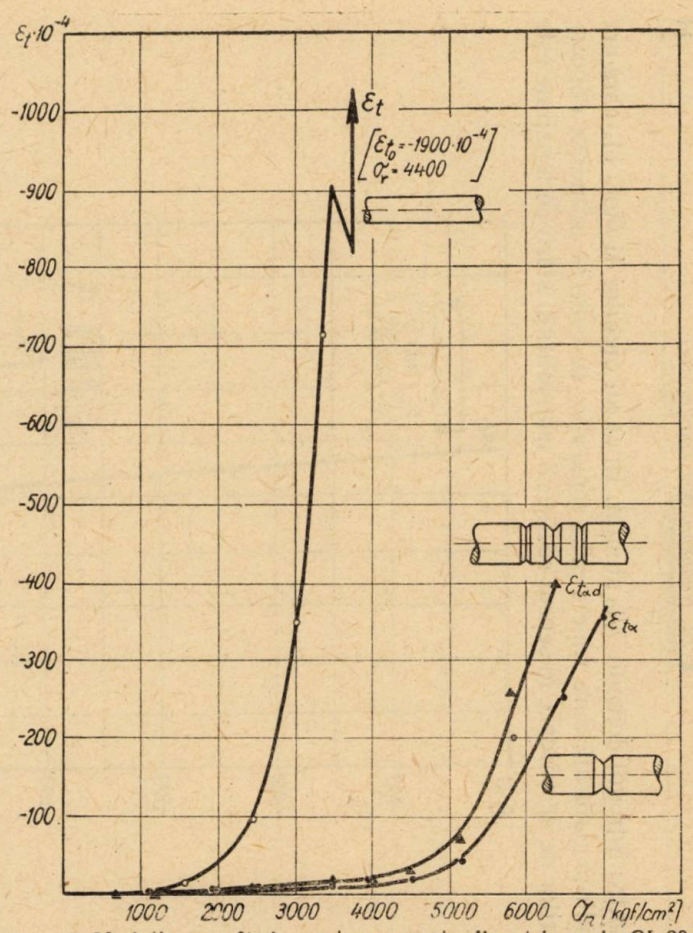



*Fig. 12.* Variația $\varepsilon_t = f(\sigma_n)$ pentru epruvete din oțel moale OL 38 avînd crestături cu $\alpha_\sigma = 4{,}1$

*16* pentru întregul domeniu $\lambda/t_0$ studiat. În cazul oţelului 41 MoC 11, care are o tendinţă naturală spre rupere prin separaţie, se vede că influenţa concentratorilor de descărcare în sensul reducerii triaxialităţii stării de tensiune este

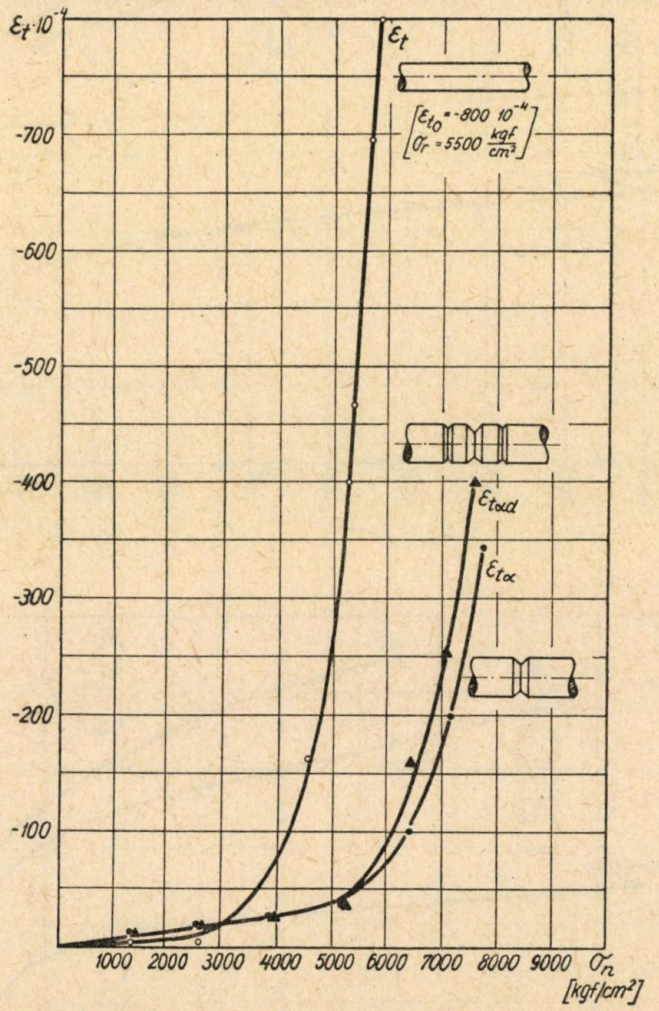



*Fig. 13.* Variaţia deformaţiei specifice tangenţiale $\varepsilon_t = f(\sigma_n)$ pentru epruvete din OLC 35 avînd crestături cu $\alpha_\sigma = 4{,}1$.

mai puţin importantă decît reducerea vîrfului de tensiune şi rezultă o rezistenţă de rupere $\sigma_{rad} > \sigma_{r\alpha}$ în aproape întregul domeniu studiat pentru raportul $\lambda/t_0$ (*fig. 17*).

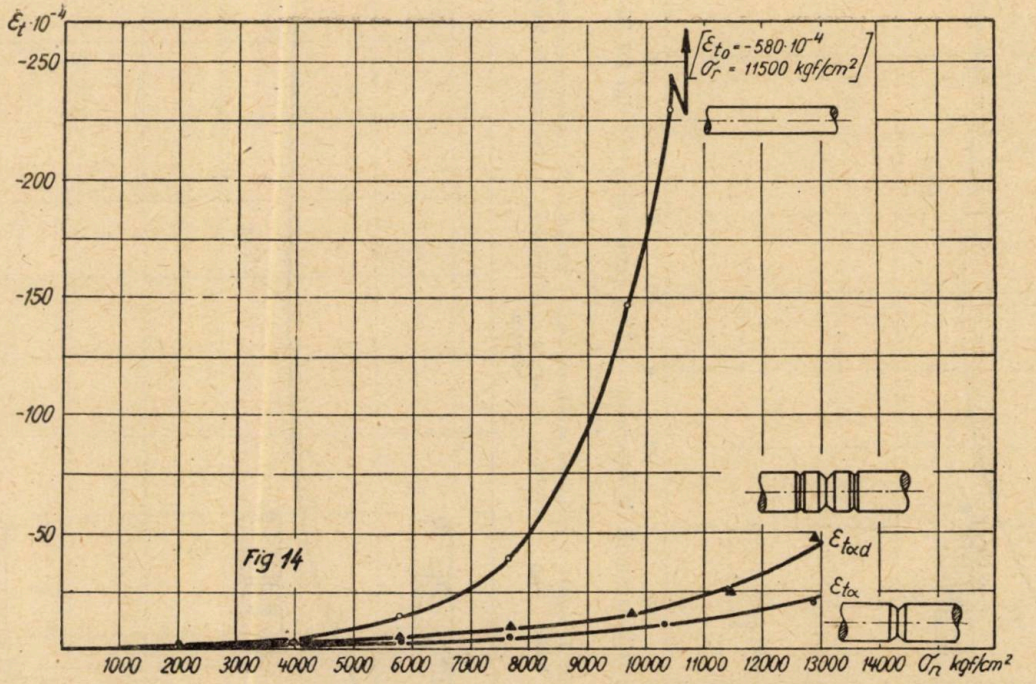



*Fig. 14* Variația $\varepsilon_t = f(\sigma_n)$ pentru epruvete din oțel 41 MoC 11, avînd crestături cu $\alpha_o = 4{,}1$.

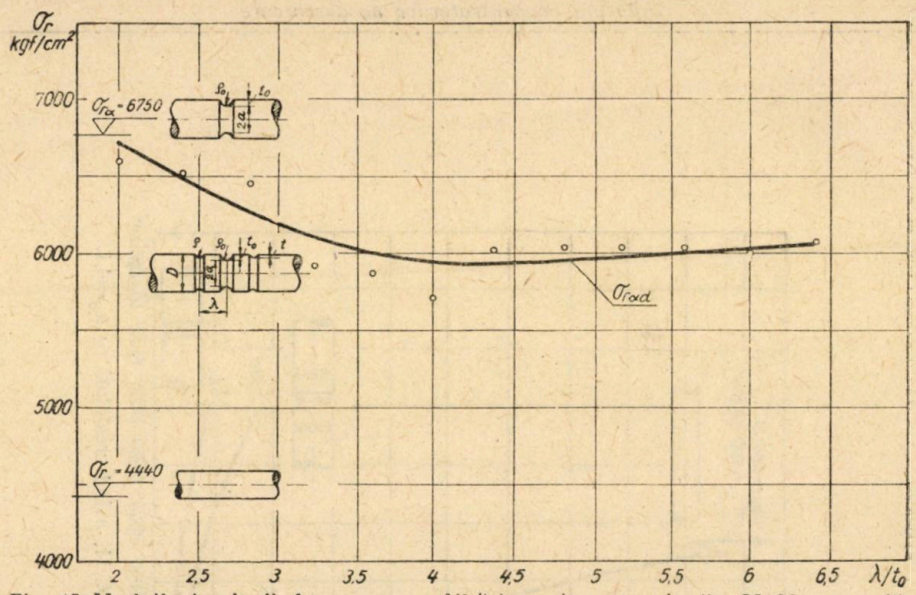



*Fig. 15.* Variația tensiunii de rupere $\sigma_r = f(\lambda/t_0)$ pentru epruvete din OL 38 cu crestături cu $\alpha_\sigma = 1{,}65$ :

$\sigma_r$ — tensiune de rupere a epruvetei standard; $\sigma_{ra}$ — tensiunea de rupere a epruvetei cu concentrator de bază; $\sigma_{rad}$ — tensiunea de rupere a epruvetei cu concentrator de bază și de descărcare.

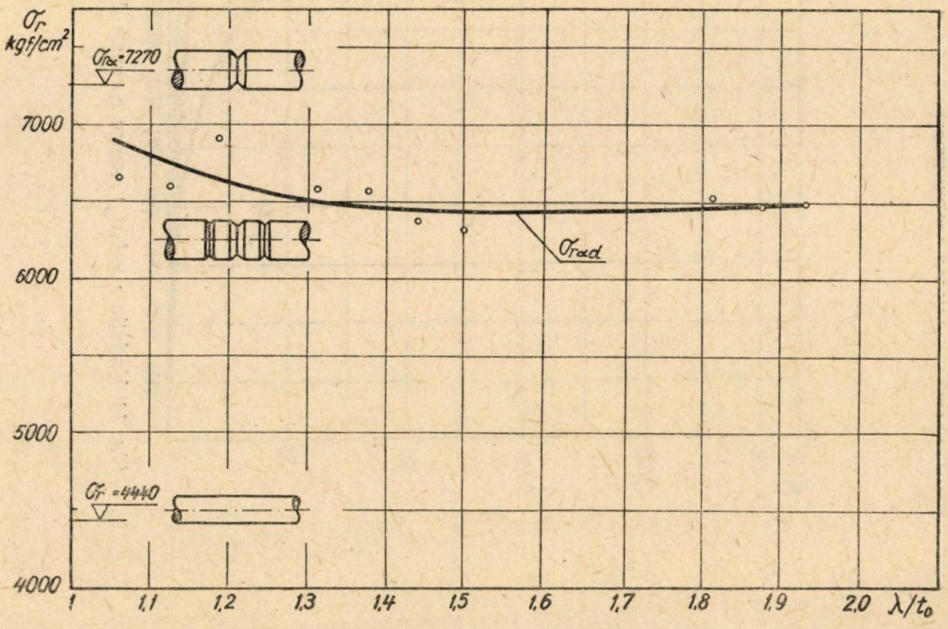



*Fig. 16.* Variația $\sigma = f(\lambda/t_0)$ pentru epruvete din OL 38 cu $\alpha_\sigma = 4{,}1$.

*2.2.4. Curbele experimentale* $\varepsilon_{tad}=f(\lambda/t_0)$. Din *figurile 18* și *19* rezultă $\varepsilon_{tad}=f(\lambda/t_0)$ pentru epruvete din OL 38 cu $\alpha_\sigma=1{,}65$. Se vede că la valori mici pentru $\varepsilon_{tad}$ s-a obținut o dispersie importantă a rezultatelor (*fig. 18*) din cauza metodei experimentale folosite. Se poate observa însă o tendință de

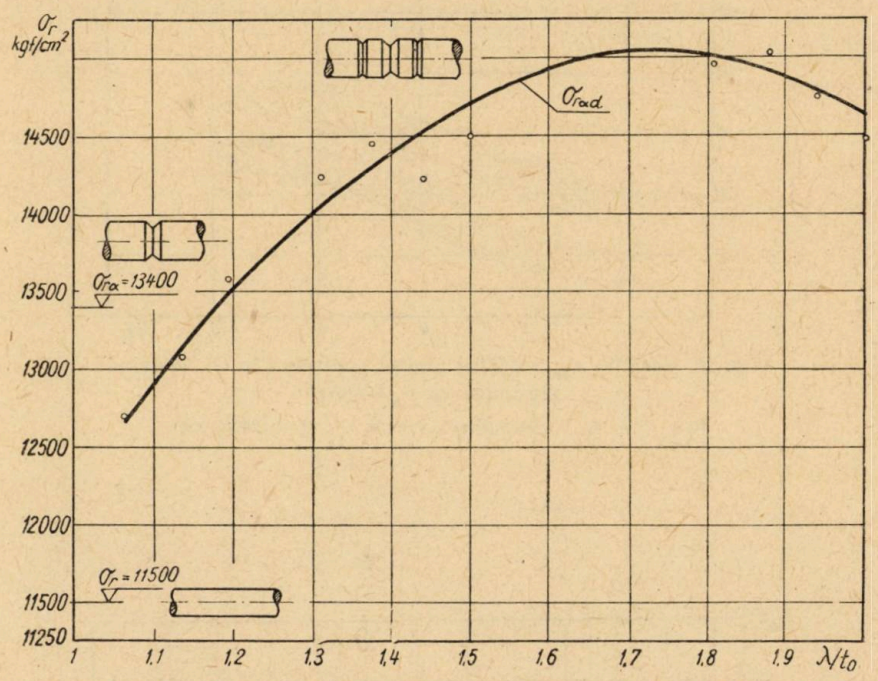



*Fig. 17.* Variația $\sigma_r=f(\lambda/t_0)$ pentru epruvete din oțel 41 MoC 11 avînd $\alpha_\sigma=4{,}1$.

scădere a valorii algebrice pentru $\varepsilon_{tad}$ la valorile mai mari ale raportului $\lambda/t_0$. În domeniul deformațiilor plastice mici, la baza crestăturii se obține pentru $\varepsilon_{tad}$ o valoare minimă pentru raportul $\lambda/t_0=4$ (*fig. 19*).

În *figura 20* este reprezentată aceeași variație $\varepsilon_{tad}=f(\lambda/t_0)$ pentru epruvetele din OL 38 cu $\alpha_\sigma=4{,}1$. Și în această diagramă se poate observa tendința spre un minim al valorii algebrice pentru $\varepsilon_{tad}$, la o anumită valoare a raportului $\lambda/t_0$ ($\lambda/t_0$ 1,5 ... 1,6) însă curbele din această diagramă sînt mult mai aplatisate decît cea din *figura 19*.

În *figura 21* se reprezintă funcția $\varepsilon_{tad}=f(\lambda/t_0)$ pentru epruvete avînd aceleași $\alpha_\sigma=4{,}1$, însă pentru un oțel 41 MoC 11. Se observă că pentru acest caz concavitatea curbelor este inversă față de *figurile 18, 19, 20* și, spre deosebire de acestea, la un anumit raport $\lambda/t_0$ se obține un maxim pentru valoarea algebrică a lui $\varepsilon_{tad}$.

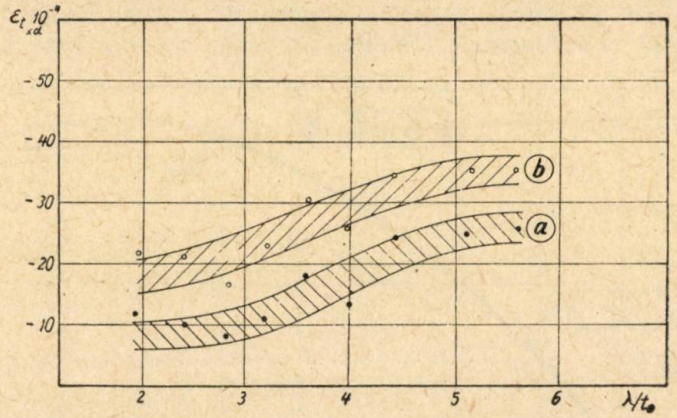



*Fig. 18.* Variația $\varepsilon_{tad} = f(\lambda/t_0)$ pentru epruvete din OL 38 avînd crestături cu $\alpha_\sigma = 1{,}65$:

zona a — $\sigma_r$ =1 896 kgf/cm²; zona b — $\sigma_r$=2 528 kgf/cm².

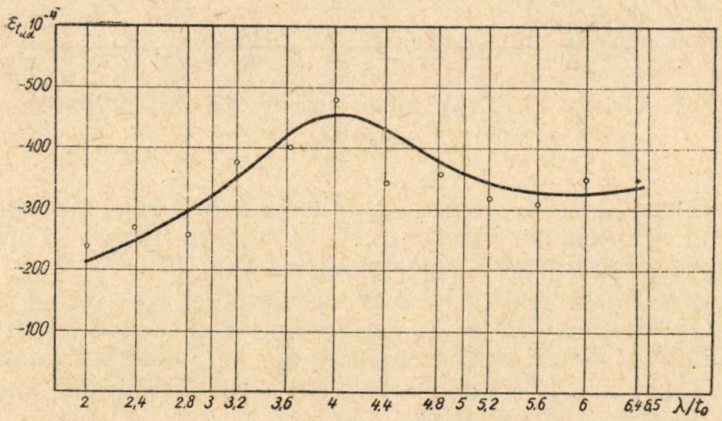



*Fig. 19.* Variația deformațiilor specifice tangențiale $\varepsilon_{tad} = f(\lambda/t_0)$ pentru epruvete din OL 38 avînd $\alpha_\sigma = 1{,}65$ și $\sigma_r$ =3 200 kgf/cm².

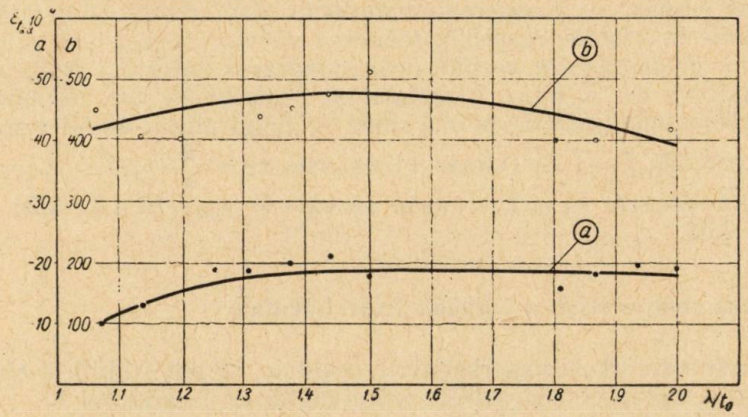



*Fig. 20.* Variația $\varepsilon_{tad}=f(\lambda/t_0)$ pentru epruvete din OL 38 avînd crestături cu $\alpha_\sigma=4{,}1$ :

curba a — pentru $\sigma_r=5\,400$ kgf/cm²; curba b — pentru $\sigma_r=12\,800$ kgf/cm².

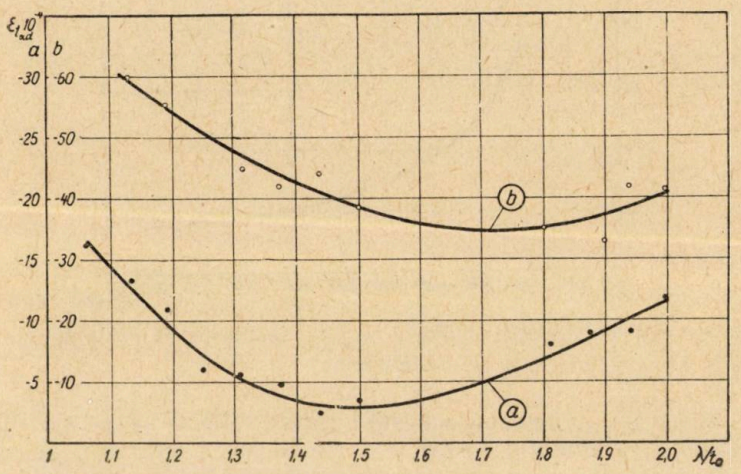



*Fig. 21.* Variația $\varepsilon_{tad}=f(\lambda/t_0)$ pentru epruvete din oțel 41 MoC 11, avînd $\alpha_\sigma=4{,}16$

curba a — pentru $\sigma_r=5\,400$ kgf/cm²; curba b — pentru $\sigma_r=12\,800$ kgf/cm².

*2.2.5. Examinări de fotoelasticitate.* Din *figurile 22, 23, 24* şi *25* rezultă reducerea vîrfului de tensiune de la baza crestăturii prin efectul crestăturilor de descărcare. Creşterea tensiunii la baza crestăturilor faţă de cele din secţiunile necrestate, respectiv scăderea vîrfului de tensiune prin efectul crestăturilor de descărcare, rezultă prin numărarea ordinului izocromaticelor corespunzătoare de la baza crestăturii şi compararea lor cu numărul de ordine al izocromaticelor de la marginea secţiunii pline. Astfel s-au obţinut pentru epruvetele $E_1$ şi $E_2$ (tabela 1) valorile $\alpha_{E_1}=\frac{12}{5}=2{,}4$ şi $\alpha_{E_2}=\frac{11}{5}=2{,}2$ iar pentru epruvetele $F_1$ şi $F_4$ (tabela 1) valorile $\alpha_{F_1}=16/4{,}5=3{,}56$ şi $\alpha_{F_4}=15/4{,}5=3{,}33$.

## 2.3. Analiza comparativă a curbelor experimentale

Examinînd curbele experimentale obţinute, se pot stabili şi alte relaţii care vin în sprijinul consideraţiilor teoretice făcute la punctul 1.

În *figura 26* s-a reprezentat variaţia raportului $\sigma_{r\alpha}/\sigma_r$ (pentru $\alpha_\sigma=4{,}1$) în funcţie de calitatea materialului exprimată prin valoarea rezistenţei de

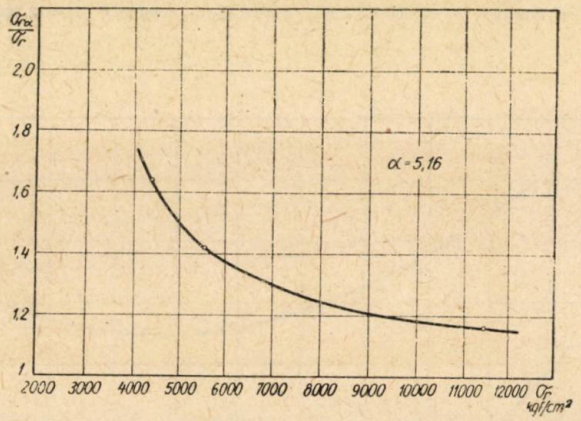



*Fig. 26.* Variaţia raportului $\sigma_{r\alpha}/\sigma_r$ în funcţie de calitatea materialului.

rupere $\sigma_r$, acceptînd ipoteza că această valoare reflectă şi compoziţia chimică a materialului, tratamentul termic etc. Se vede că valoarea acestui raport scade cu cît rezistenţa de rupere a materialului creşte.

Din tabela 2 şi din *figura 26* rezultă că influenţa stării de tensiune este mai pronunţată la materiale cu caracteristici de rezistenţă mai scăzute, cu toate că la aceste materiale cedarea plastică este mai pronunţată, aşa cum s-a arătat la punctul 1. Cu creşterea lui $\sigma_r$ (*fig. 26*), raportul $\sigma_{r\alpha}/\sigma_r$ tinde spre o valoare limitată (subunitară), care ar reflecta numai influenţa negativă

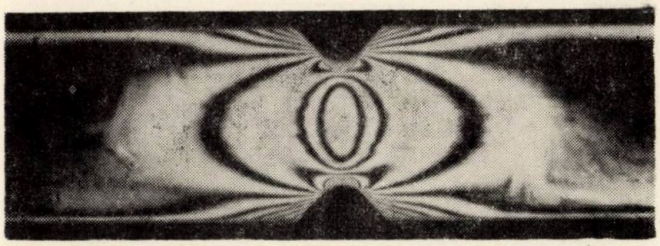


*Fig. 22.* Epruveta $E_1$ cu concentrator de bază $\frac{a}{\rho_0}=2{,}25$ ; $\frac{t_0}{\rho_0}=20$.

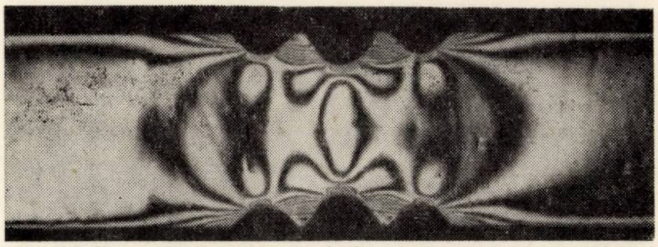


*Fig. 23.* Epruveta $E_2$ cu concentrator de bază și concentrator de descărcare $t/t_0=0{,}6$ ; $t/\rho=1$ ; $\lambda/t_0=2{,}2$.

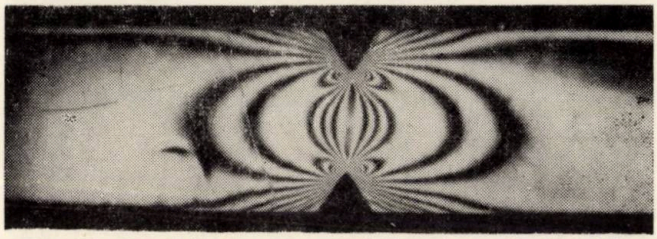


*Fig. 24.* Epruveta $F_1$ cu concentrator de bază $a/\rho_0=25$ ; $t_0/\rho_0=20$.

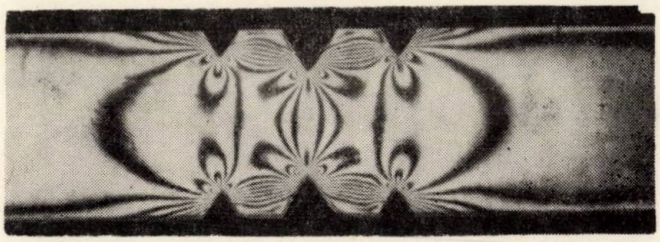


*Fig. 25.* Epruveta $F_4$ cu concentrator de bază și concentrator de descărcare $t/t_0=0{,}625$ ; $t/\rho=1{,}25$ ; $\lambda/t_0=2$.

a vîrfului de tensiune. Această limită s-ar atinge pentru un material cu intensitatea de deformație la rupere egală cu zero. Din oțelurile folosite la încercările efectuate, oțelul 41 MoC 11 se apropie cel mai mult de această ipoteză. Făcînd pentru acest material comparația între valoarea tensiunii reale de rupere a epruvetei standard ($\sigma_{rr}$ fiind ruperea prin separație) și tensiunea de rupere a epruvetei cu concentratori ($\sigma_{r\alpha}$) (tabela 2, coloanele 11 și 12), rezultă efectul negativ al vîrfului de tensiune de la baza crestăturii, deoarece în acest caz influența deplasării ruperii spre ruperea de separație nu se mai resimte, iar raportul $\sigma_{r\alpha}/\sigma_{rr} < 1$. Influența puternică a stării de tensiune asupra rezistenței de rupere este confirmată și prin legătura dintre funcțiile $\varepsilon_{tad} = f(\lambda/t_0)$ și $\sigma_{rad} = f(\lambda/t_0)$, care rezultă prin comparația diagramelor din *figura 19* cu *figura 15*, *figura 22* cu *figura 16* și *figura 21* cu *figura 17*, de unde rezultă că pentru rapoartele $\lambda/t_0$ la care corespund valori algebrice maxime, pentru $\varepsilon_{t\alpha}$, deci coeficientul $\varkappa$ este mare, corespund și rezistențe de rupere $\sigma_{rad}$ maxime.

Materialul experimental de la punctul 2 justifică deci considerațiile teoretice făcute la punctul 1, unde influența globală a concentratorilor se reprezintă printr-o influență pozitivă a stării de tensiune și un efect negativ al vîrfului de tensiune din secțiunea încrestată asupra rezistenței piesei.

## 3. CONCLUZII

Din considerațiile teoretice și cercetările experimentale făcute în cadrul lucrării rezultă efectul global al concentratorilor de bază și de descărcare asupra rezistenței pieselor, ca o suprapunere a influenței pozitive a stării triaxiale de tensiune și a efectului negativ al vîrfului de tensiune de la baza crestăturii. Pe baza acestor constatări rezultă că factorul de formă $\alpha_\sigma$, folosit în calculele statice de rezistență, nu reflectă integral fenomenul real și duce în multe cazuri la supradimensionări. Totodată, din lucrare rezultă că folosirea factorului de descărcare $\gamma$, care duce întotdeauna la o micșorare a coeficientului de formă, deci la o aparentă îmbunătățire a rezistenței piesei, nu este justificată în toate cazurile, în special la materialele cu o limită de curgere pronunțată. Dimpotrivă, rezultă că în anumite cazuri efectuarea concentratorilor de descărcare în domeniul solicitărilor statice la temperatura mediului ambiant nu este indicată, ducînd la micșorarea rezistenței de rupere a piesei. Pentru materialul și geometria concentratorilor pentru care efectuarea concentratorilor de descărcare în condițiile arătate are rost (în lucrarea de față epruvetele din seria D, tabela 1), se indică poziția optimă a concentratorului de descărcare prin valoarea optimă a raportului $\lambda/t_0 = 1{,}7$ (*fig. 17*). Indicațiile și rezultatele obținute în lucrare sînt importante atît pentru o dimensionare economică în activitatea

de proiectare, cît și pentru desfășurarea cercetărilor, în continuare, în această direcție. Pe drumul elucidării complete a acestei probleme mai sînt necesare încercări pentru delimitarea precisă a domeniului în care este predominantă influența stării de tensiune, respectiv vîrful de tensiune de la baza crestăturii principale, luînd în considerare atît geometria concentratorilor, cît și calitățile mecanice ale materialului piesei.

## BIBLIOGRAFIE

1. H. Neuber (1958): *Kerbspannungslehre*, 2 Auflage, Berlin (Göttingen), Heidelberg, cap. V și VII.
2. Șt. Nădășan (1963): *Rezistența materialelor*, vol. IV, Ed. didactică și pedagogică, București, cap. III și IV.
3. G. V. Uzhik and P. F. Koshelev (1962): Effect of stress state in regions of stress concentration on metal strength and fracture, *Conference of the Hungarian Academy of Sciences on dimensioning and strength calculation*, Akademiai kiado, Budapest, 3—22.
4. A. Kochendorfer und A. Schurenkamper (1961): Spannungszustand und Ausbildung der Fliesszonen in gekerbten Zug- und Biegeproben und ihr Einfluss auf das Festigkeits- und Formänderungsverhalten der Werkstoffe, *Archiv für Eisenhüttenwesen, 10*, Okt.
5. A. Kochendorfer und A. Schurenkamper (1961): Spannungszustand und Mehrachsigkeitszahlen in gekerbten Zug- und Biegeproben bei elastischer Beanspruchung, *Archiv für Eisenhüttenwesen, 10*, Okt.
6. Max Pfender (1963): Uber Probleme des Werkstoffverhaltens bei überelastischer Beanspruchung, *Materialprüfung*, 5, *12*, Dez.
7. W. Schmidt (1964): Der Einfluss des Spannungszustandes auf die mechanischen Eigenschaften, *D.E.W. Technische Berichte, 4.*
8. * * * (1955): *Hütte I, Des Ingenieurs Taschenbuch*, 28. neubearbeitete Auflage, Berlin, 847—853.
9. C. Höschl (1964): Vzajemuy vliv vrubu pri rovinne napjatosti. *Vydala Vysoka Skola Strojni a textilni v Liberci.*
10. N. Iosipescu (1955): *Introducere în fotoelasticitate*, vol. II Aplicații ale fotoelasticității, Ed. tehnică, București, cap. IV și V.
11. A. Thum, C. Petersen, O. Svenson (1960): Verformung Spannung, *Kerbwirkung*, V.D.I. Verlag Düsseldorf.

*Manuscris primit în septembrie, 1967*

# FORMAREA COMPONENȚILOR FRAGILI LA SUDAREA OȚELURILOR CU CARBON

H. SELMEREANU, TR. SĂLĂGEAN

*Centrul de cercetări tehnice al Academiei Republicii Socialiste România, Timișoara*

In lucrare se studiază comportarea la sudare a unor oțeluri cu carbon, avînd conținutul în carbon cuprins între 0,12 și 0,64%. Cercetarea se face cu două feluri de probe: fără sudură și cu sudură. Urmărind prin aceste probe în mod special fragilizarea oțelurilor în zona influențată termic (ZIT) se observă că rezultatele unora din probe conduc la concluzii foarte apropiate. Din acest motiv, se creează posibilitatea reducerii numărului încercărilor. Bazați pe cercetarea făcută, autorii propun o metodologie de determinare a comportării la sudare a unui nou tip de oțel cu ajutorul a 6 încercări. In cazul în care se urmărește calitatea unui oțel, a cărui comportare în fază de laborator a fost studiată, autorii consideră că determinarea durității maxime sub cordon, a tendinței spre îmbătrînire și a comportării la temperaturi scăzute sînt suficiente.

Toate acestea se referă numai la oțelurile nealiate cu carbon.

*1.* Comportarea la sudare a oțelurilor este intim legată de apariția componenților fragili în zona influențată termic (ZIT). In cazul oțelurilor cu carbon, factorii esențiali ai procesului de fragilizare sînt: compoziția chimică a oțelului și repartiția vitezelor de răcire în *ZIT*. Pe lîngă aceștia, vin în considerare condițiile ereditare ale oțelului și prelucrările prin deformare plastică la care a fost supus. Dintre factorii enumerați compoziția chimică și condițiile ereditare ale oțelului sînt deocamdată determinați cu mare aproximație. Analizele chimice curente la oțelurile cu carbon indică conținuturile în carbon, mangan, siliciu, sulf și fosfor, ignorînd alte elemente ce intră în proporții de „urme". Cu toate acestea, unele elemente pot influența mult comportarea oțelului, chiar în cantități extrem de mici. Este cazul borului, folosit azi la producerea oțelurilor cu rezistență mare. De asemenea analizele curente nu spun decît prea puține lucruri despre gazele din oțeluri și nu pot furniza date asupra modului în care sînt repartizați atomii de gaz în interior. In ceea ce privesc condițiile ereditare, acestea sînt și mai

vag cunoscute. În mod obișnuit despre ele ne limităm a spune regiunea de unde vine minereul și uzina siderurgică care a elaborat oțelul.

Situația descrisă este cauza ce a determinat pe cercetători să caute alte mijloace de investigație, prin care indirect să se evidențieze influența factorilor greu de luat în considerare direct. Este cazul încercării de îmbătrînire, care relevă efectul atomilor de azot dispersați submicroscopic în oțel, fără a ne putea informa despre modul cum atomii de azot sînt repartizați respectiv combinați sub formă de nitruri. Or, tocmai de felul repartizării atomilor de azot și nitrurilor, depinde gradul în care oțelul își pierde plasticitatea, adică îmbătrînirea sa.

Suplinirea lipsurilor de informații privind analiza chimică și condițiile ereditare la oțeluri se face azi prin „încercările de sudabilitate", foarte numeroase datorită însăși situației care le-a generat. Existența acestor încercări, diversificate mult ca formă de epruvetă, mod de încercare, fel de interpretare și de apreciere, dintre care unele nelegate de o mărime fizică caracteristică, a condus la imposibilitatea definirii logice a noțiunii de sudabilitate [1].

Cele arătate ne-au condus la elaborarea unui studiu în care am urmărit comportarea la sudare a unor oțeluri cu carbon, la care conținutul în carbon a variat între 0,12 și 0,64%. La încercări am folosit table de 15 mm grosime din respectivele oțeluri, puse la dispoziție de Combinatul siderurgic Reșița din producția curentă. Nu am introdus probe noi în lucrări, ci am căutat să utilizăm cîteva din cele existente, în cadrul unei metodologii cît mai aproape de fenomenele fizice caracteristice proceselor din *ZIT*.

În *tabela 1* se prezintă compoziția chimică a culeelor așa cum rezultă ea din analiza normală. În tot ceea ce urmează culeele se vor indica conform numerotării din această tabelă.

*Tabela 1*

**Compoziția chimică a culeelor folosite la cercetări**

| Nr. | Culeul nr. | Compoziția chimică % | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | C | Mn | Si | P | S |
| 1 | 14 201 | 0,12 | 0,44 | 0,32 | 0,024 | 0,042 |
| 2 | 51 027 | 0,14 | 0,47 | 0,30 | 0,029 | 0,021 |
| 3 | 24 503 | 0,21 | 0,38 | urme | 0,032 | 0,023 |
| 4 | 48 532 | 0,23 | 0,42 | urme | 0,054 | 0,038 |
| 5 | 14 276 | 0,35 | 0,54 | 0,32 | 0,058 | 0,042 |
| 6 | 5 723 | 0,42 | 0,66 | 0,31 | 0,017 | 0,026 |
| 7 | 63 898 | 0,64 | 0,68 | 0,31 | 0,032 | 0,017 |

2. Cercetarea oțelurilor din punctul de vedere al comportării la sudare s-a făcut în două moduri diferite: încercări fără sudură și încercări cu sudură. *Încercările fără sudură* au fost alese astfel ca ele să reflecte însușiri plastice ale oțelurilor, respectiv scăderea acestora datorită influenței

unor factori ce apar și în procesele de sudare. Au fost luați în considerare următorii factori : îmbătrînirea, creșterea grăunților cristalini și tendința spre călire a oțelurilor. Acțiunea lor a fost măsurată cu ajutorul rezilienței, durității și analizelor de macro și microstructură. *Încercările cu sudură* au fost : cercetarea *ZIT* produsă în oțeluri prin depunerea unor cusături cu diferite viteze de sudare și proba de sudabilitate Čabelka [2].

Reziliența s-a determinat în toate cazurile pe epruvete Mesnager, pentru că acestea reflectă însușirile locale ale oțelurilor față de solicitări cu viteze foarte mari de deformare. In afară de proba de sudabilitate Čabelka, cifrele de reziliență obținute în toate celelalte cercetări sînt rezultatul a 5 încercări, indicîndu-se totdeauna valoarea medie, valoarea maximă și valoarea minimă obținută. La proba Čabelka acest lucru nu este posibil, fapt care a format obiectul principalelor critici aduse probei mai ales în comisia IX — sudabilitate — a Institutului Internațional de sudură (*IIS*).

## *A.* INCERCARI FARA SUDURA

*3.* Tendința spre îmbătrînire a oțelului poate fi cauza unor comportări slabe la sudare, ceea ce conduce apoi la defecțiuni grave în construcțiile sudate. Imbătrînirea apare la sudare în *ZIT,* unde, sub acțiunea ciclurilor termice, atomii de azot și nitrurile se precipită submicroscopic, creînd tensiuni interne la nivelul grăunților cristalini. Imbătrînirea oțelurilor se reflectă cu destulă fidelitate în valoarea rezilienței, conducînd la o scădere a acesteia. In cercetările făcute, îmbătrînirea a fost provocată artificial printr-o deformare plastică a epruvetelor cu 10% și încălzirea lor la 300 °C timp de 1 oră. Raportînd reziliența după îmbătrînire K′, la reziliența în stare de livrare K, s-a considerat că oțelul înclină spre îmbătrînire dacă raportul K′/K era mai mic de 0,5 [3].

In *tabela 2* este arătată reziliența oțelurilor încercate în stare de livrare K, reziliența după îmbătrînire K′ și raportul K′/K.

*Tabela 2*

**Date asupra tendinței spre îmbătrînire a oțelurilor cercetate ****

| Nr. crt. | K în mkgf/cm² | | | | | | K′ în mkgf/cm² | | | $\frac{K'}{K^*}$ | $\frac{K_t}{K_l}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Longitudinal (l) | | | Transversal (t) | | | | | | | |
| | Max. | Min. | Med. | Max. | Min. | Med. | Max. | Min. | Med. | | |
| 1 | 19,25 | 17,25 | 18,00 | 14,80 | 12,80 | 13,65 | 1,80 | 1,25 | 1,51 | 0,084 | 0,76 |
| 2 | 18,80 | 15,65 | 16,80 | 12,30 | 10,80 | 11,70 | 8,50 | 5,10 | 6,30 | 0,375 | 0,70 |
| 3 | 14,25 | 12,00 | 13,70 | 9,40 | 9,20 | 9,30 | 1,60 | 1,00 | 1,30 | 0,095 | 0,68 |
| 4 | 12,20 | 6,50 | 8,10 | 6,50 | 4,75 | 5,75 | 5,00 | 4,60 | 4,85 | 0,600 | 0,71 |
| 5 | 7,30 | 6,50 | 6,80 | 4,75 | 3,30 | 3,70 | 4,00 | 2,40 | 3,20 | 0,470 | 0,54 |
| 6 | 7,70 | 7,25 | 7 50 | 6,40 | 5,30 | 5,80 | 3,60 | 2,00 | 2,80 | 0,373 | 0,77 |
| 7 | 3,25 | 2,25 | 2,80 | 3,75 | 1,35 | 2,20 | 1,90 | 1,00 | 1,30 | 0,450 | 0,79 |

* *La calculul lui K′/K s-a luat K longitudinal.*
** *Toate rezilientele s-au determinat la temperatura de +20 °C.*

Din datele *tabelei 2* se desprind următoarele:

*a*) Rezilienţele oţelurilor în stare de livrare au valori şi împrăştieri normale, iar anizotropia determinată de raportul $\frac{K_t}{K_l} \approx 0{,}7$ este acceptabilă.

*b*) Se remarcă oţelul nr. 6 cu 0,40% C, a cărui rezilienţă este comparabilă cu a oţelului nr. 4 cu 0,28% C. Fenomenul se va observa şi în alte determinări de rezilienţă ce urmează. El se explică prin condiţiile ereditare. Astfel, oţelul nr. 4, este necalmat şi are 0,054% P, iar oţelul nr. 6 este calmat şi are numai 0,017% P. Se vede deci că o elaborare îngrijită a oţelului poate compensa, în oarecare măsură, scăderea gradului de plasticitate provocată de creşterea conţinutului în carbon.

*c*) Toate oţelurile cercetate înclină spre îmbătrînire într-un mod foarte accentuat. În acest sens, ar fi foarte utilă cercetarea sistematică a conţinutului în azot la oţelurile cu carbon elaborate la Reşiţa, cu adoptarea unor măsuri corespunzătoare.

*4.* Tendinţa spre fragilizare a oţelului datorită scăderii temperaturii este importantă mai ales la construcţiile sudate destinate a lucra în frig. Am determinat această tendinţă tot cu ajutorul rezilienţei, urmărindu-i variaţia la temperaturi de 0, —20 şi —50 °C (*tabela 3*). Epruvetele folosite au fost longitudinale faţă de sensul laminării.

Se poate observa că la toate oţelurile cercetate, rezilienţa scade repede cu scăderea temperaturii. Scăderea rezilienţei se accentuează la oţelurile cu carbonul peste 0,20%. La aceste oţeluri (nr. 3...7) scăderea e mai rapidă dacă conţinutul în fosfor depăşeşte 0,03%. Încercările nu s-au efectuat pentru oţelul nr. 7 fiindcă, la acesta, rezilienţa medie la +20 °C era mică şi deci scăderile provocate de scăderea temperaturii ar fi fost nesemnificative în raport cu celelalte oţeluri.

Datele prezentate arată că oţelurile destinate a lucra la temperaturi negative, trebuie, între altele, să aibă un conţinut în fosfor sub 0,03% [4].

*Tabela 3*

**Date asupra fragilizării oţelurilor prin scăderea temperaturii**

| Nr. | Rezilienţa în m kgf/cm² la: | | | |
|---|---|---|---|---|
| | +20°C | 0 °C | —20 °C | —50 °C |
| 1 | 18,00 | 12,40 | 9,30 | 1,00 |
| 2 | 16,80 | 14,30 | 12,50 | 0,90 |
| 3 | 13,70 | 13,00 | 2,30 | 0,65 |
| 4 | 8,10 | 8,70 | 4,90 | 0,60 |
| 5 | 6,80 | 5,30 | 1,90 | 0,60 |
| 6 | 7,50 | 6,00 | 4,90 | 1,65 |

*Figura 1* prezintă rezilienţele în funcţie de conţinuturile în carbon ale oţelurilor, de temperaturile de încercare şi de felul cum au fost prelevate epruvetele faţă de laminare. În aliura curbelor se remarcă creşterea tuturor rezilienţelor la oţelul nr. 6, datorită celor semnalate la punctul 2 b.

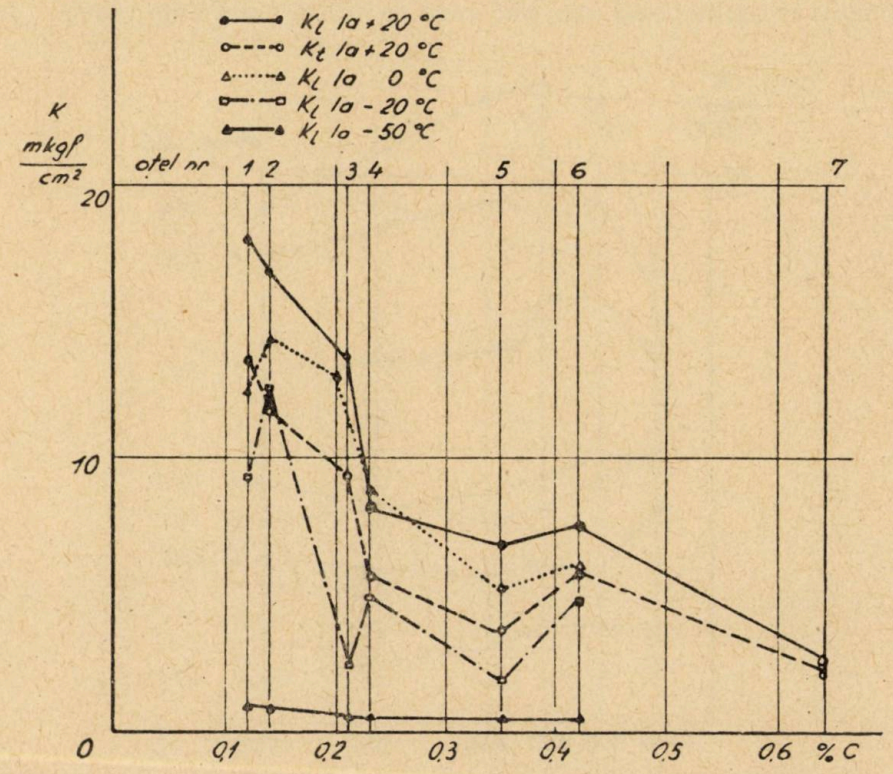



*Fig. 1.* Rezilienţele oţelurilor cercetate în funcţie de temperatura de încercare şi de modul de prelevare a epruvetelor faţă de sensul laminării.

5. În *ZIT* se ating, în anumite regiuni, temperaturi mult peste linia GS a diagramei fier-carbon. Asemenea încălziri înalte în cîmpul austenitic provoacă creşterea grăunţilor cristalini, care are efecte şi asupra gradului de plasticitate a oţelului în respectiva regiune. De aceea ne-a interesat tendinţa spre creştere a grăunţilor cristalini în funcţie de temperatura de austenitizare. Pentru aceasta, s-au încălzit epruvete din oţelurile cercetate la temperaturi de 850, 900, 950, 1 000 şi 1 200 °C şi, după omogenizare, au fost lăsate să se răcească în aer liniştit avînd temperatura de +20 °C. S-au măsurat: mărimea grăunţilor, rezilienţa şi duritatea oţelurilor după acest tratament termic. Datele obţinute se văd în *tabela 4*. În *figura 2* s-a reprezentat variaţia rezilienţei oţelurilor cercetate în funcţie de temperatura de austenitizare.

Se poate spune că toate oțelurile cercetate au o tendință relativ mică spre supraîncălzire. Este însă interesant de relevat următorul fenomen: la oțelurile cu conținut în carbon pînă la 0,23% reziliența în funcție de temperatura de austenitizare înregistrează un maxim. La celelalte oțeluri, avînd conținutul în carbon egal sau mai mare ca 0,23%, reziliența scade o dată

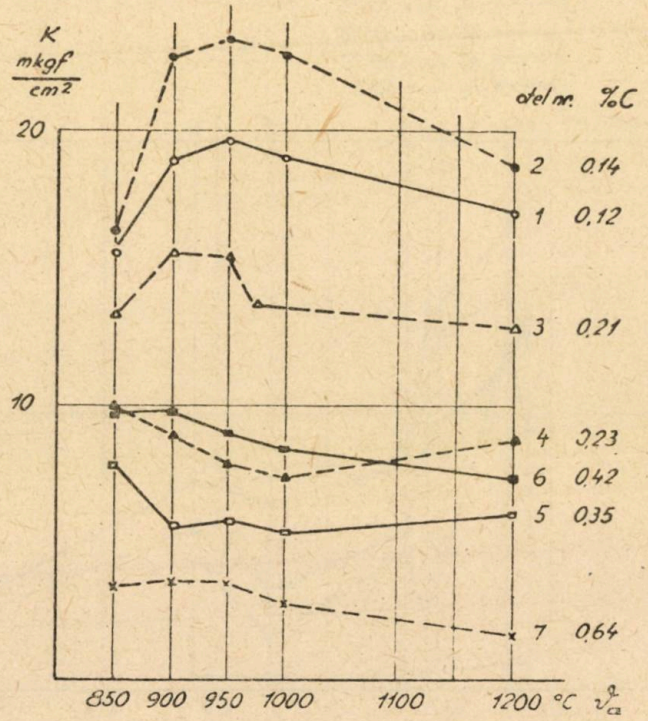



*Fig. 2.* Variația rezilienței oțelurilor cercetate în funcție de temperatura de austenitizare.

cu creșterea temperaturii de austenitizare. Fenomenul se datorește creșterii supraîncălzirii cu conținutul în carbon a oțelului, la temperatura de austenitizare dată, așa cum rezultă din *figura 3.* Spre exemplu, la $\vartheta_a = 900$ °C, supraîncălzirea oțelului nr. 1 este de 900—861 = 39 °C, pe cînd supraîncălzirea oțelului nr. 7 este de 900—757 = 143 °C. Din punct de vedere metalurgic, este desigur interesant să se cerceteze variația rezilienței cu temperatura de austenitizare la aceleași supraîncălziri pentru toate oțelurile. În cazul sudurii însă, ciclurile termice din *ZIT* sînt determinate de regimul de sudură și numai în mică măsură, de conținutul în carbon al oțelului. Așadar temperaturile maxime din *ZIT*, la regim dat, sînt practic aceleași indife-

*Tabela 4*

**Reziliența, duritatea și mărimea grăunților (MG — în grade ASTM) a oțelurilor cercetate în funcție de temperatura de austenitizare $\vartheta_a$.**

| $\vartheta_a$ °C | oțel nr. / proba | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 850 | K $\frac{mkgf}{cm^2}$ | 15,60 | 16,30 | 13,30 | 10,00 | 7,90 | 9,90 | 3,25 |
| | HV | 132 | 147 | 125 | 154 | 165 | 170 | 260 |
| | MG | 6 | 4...6 | 6...7 | 8 | 7...8 | 8 | 6...7 |
| 900 | K | 18,90 | 22,75 | 15,60 | 8,90 | 5,60 | 9,85 | 3,50 |
| | HV | 147 | 145 | 132 | 123 | 148 | 181 | 236 |
| | MG | 7 | 7 | 8 | 5...6 | 5...7 | 8 | 7 |
| 950 | K | 19,65 | 23,35 | 15,40 | 7,90 | 5,90 | 9,00 | 3,40 |
| | HV | 128 | 147 | 128 | 167 | 177 | 181 | 254 |
| | MG | 7...8 | 6 | 5...6 | 5...6 | 5...6 | 6...7 | 6 |
| 1 000 | K | 19,00 | 22,80 | 13,70 | 7,45 | 5,40 | 8,40 | 2,80 |
| | HV | 132 | 145 | 126 | 158 | 145 | 181 | 227 |
| | MG | 7 | 6 | 4...5 | 3 | 5 | 6...7 | 4...5 |
| 1 200 | K | 17,00 | 18,70 | 12,80 | 8,90 | 6,00 | 7,30 | 1,60 |
| | HV | 139 | 165 | 135 | 153 | 170 | 199 | 266 |
| | MG | 6...7 | 5...6 | 4 | 3 | 3...4 | 3...4 | 1...2 |

rent de materialul de bază. De aceea, în cercetarea tendinței spre supraîncălzire, am ales aceleași temperaturi de austenitizare la toate oțelurile.

*6.* Alte surse de fragilizare ale oțelurilor în *ZIT* sînt: tendința spre călire și fragilizarea la revenire. Tendința spre călire a fost determinată cu ajutorul unor cuburi cu latura de 10 mm extrase din fiecare oțel, austenitizate la temperaturile de 850, 1 000 și 1 200 °C și răcite apoi în apă, ulei și aer. S-au obținut astfel viteze de răcire $v_r$ de 600 °C/s, notată cu $v_r^1$, de 250 °C/s, notată cu $v_r^2$ și de 50 °C/s, notată cu $v_r^3$. Durităților oțelurilor astfel călite în funcție de $\vartheta_a$ și $v_r$ sînt arătate în *figura 4.*

Se vede că la viteze de răcire de 50 °C/s, durităților tuturor oțelurilor cercetate se situează sub limita admisă la sudare (350 HV). La viteza de

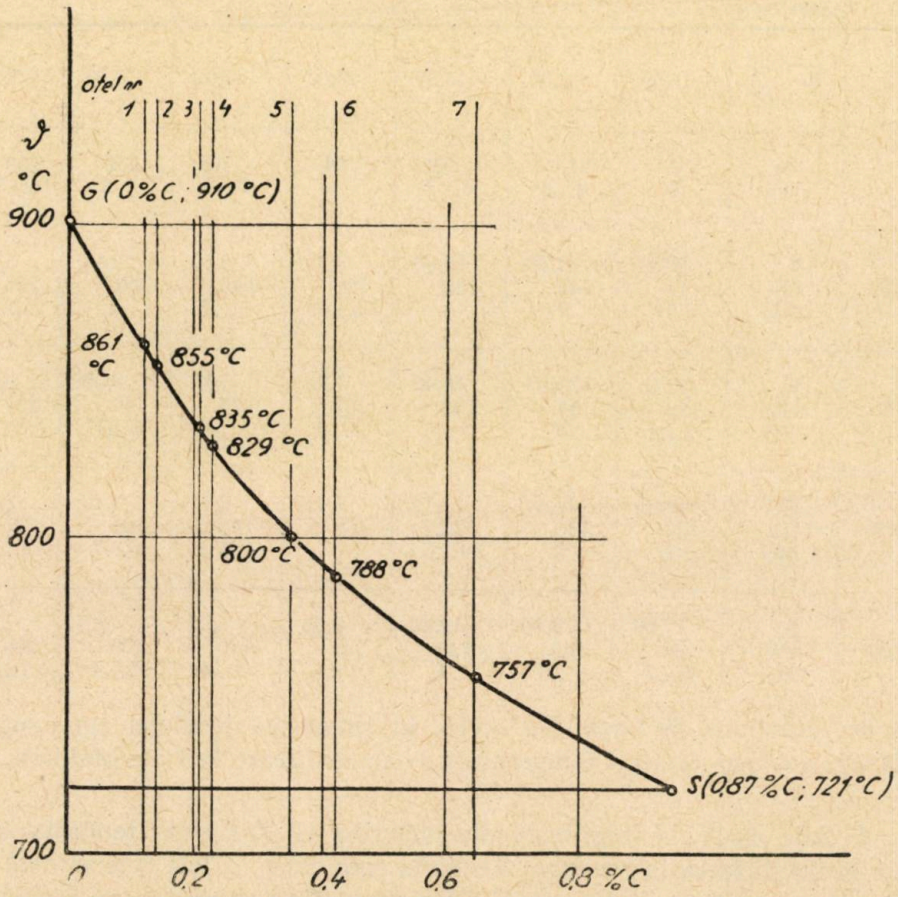



*Fig. 3.* Supraîncălzirea oțelurilor cu diferite conținuturi în carbon în cazul austenitizării lor la aceleași temperaturi.

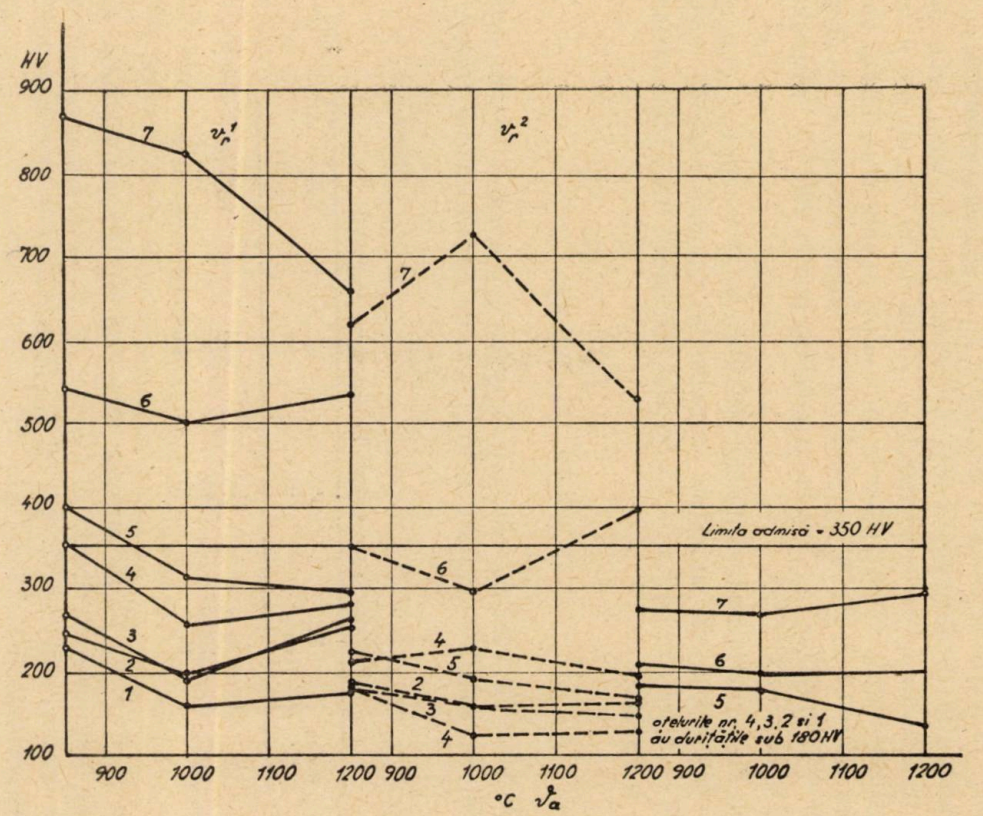



*Fig. 4.* Durităţile oţelurilor cercetate în urma călirii lor, în funcţie de temperatura de austenitizare şi de vitezele de răcire.

răcire de 250 °C/s, limita de duritate e depășită de oțelul nr. 6 cu 0,42% C și de nr. 7 cu 0,64% C. La 600 °C/s și oțelul nr. 5 cu 0,35% C depășește limita de duritate admisă. *Figurile 5, 6, 7, 8* și *9* arată microstructurile oțelurilor, care la încercarea tendinței spre călire, au duritate mai mare decît 350 HV [5]. Se poate vedea că în structurile lor a apărut martensită, cu atît mai pronunțat cu cît duritatea a fost mai mare. Practic, încercările făcute arată că la oțelurile cu carbon, vitezele de răcire de 50 °C/s nu pot fi cauza unor fragilizări îngrijorătoare, chiar la conținuturi în carbon de 0,64%. Odată cu mărirea vitezelor de răcire, conținuturile în carbon care nu duc la creșteri inadmisibile de duritate, se reduc la max. 0,35% pentru 250 °C/s, respectiv la max. 0,23% pentru 600 °C/s.

Cercetînd cu ajutorul rezilienței fragilizarea la revenire a oțelurilor, s-a găsit că la niciun oțel nu are loc un asemenea fenomen. Valorile rezilienței după revenire sînt de 1,2 ... 1,5 ori mai mari decît rezilienței oțelurilor în starea de livrare.

## *B.* INCERCARI CU SUDURĂ

7. Pe table din oțelurile cercetate, toate cu grosimea de 15 mm, au fost depuse automat sub flux cusături cu trei viteze de sudare diferite (*tabela 5*).

*Tabela 5*

**Regimurile de sudare la depunerea cusăturii**

| Regim nr. | $V_s$ mm/s | $U_a$ V | $I_s$ A | $P_l$ Joule/m |
|---|---|---|---|---|
| I | 4,12 | 33 | 420 | $3,37 \cdot 10^6$ |
| II | 19,50 | 33 | 390 | $0,76 \cdot 10^6$ |
| III | 35,20 | 40 | 380 | $0,43 \cdot 10^6$ |

Prin aceasta s-a variat energia introdusă în unitatea de timp și pe unitatea de lungime a cusăturii, ceea ce a avut ca efect obținerea unor *ZIT* extrem de diferite, așa cum se vede și din *figura 10*. Din probele executate s-au extras epruvete de reziliență (*fig. 11*), s-au determinat durităților maxime sub cusătură și s-au făcut examinări microstructurale.

*a*) Rezilienței sub cordon au fost extrase transversal pe direcții de laminare, pentru a ne situa în cazul cel mai defavorabil, iar măsurătorile s-au făcut atît la 20 °C, cît și la —35 °C. În *tabela 6* se prezintă valorile rezilienței determinate în condițiile arătate. Rezilienței sub cordon, în funcție de

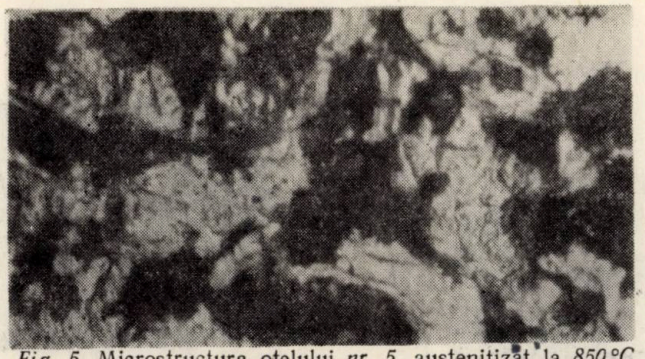


*Fig. 5.* Microstructura oțelului *nr. 5,* austenitizat la *850 °C* și călit în apă.

*Fig. 6.* Microstructura oțelului *nr. 6,* austenitizat la *850 °C* și călit în apă.

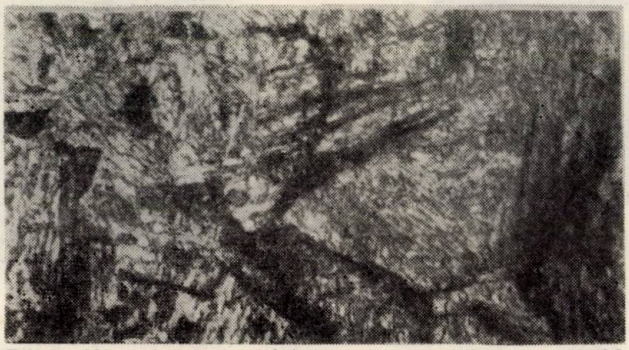


*Fig. 7.* Microstructura oțelului *nr. 6,* austenitizat la *1 000 °C* și călit în apă.

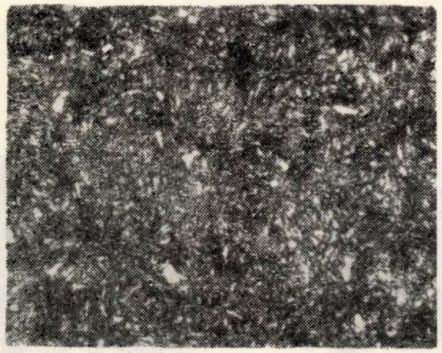


*Fig. 8.* Microstructura oțelului *nr. 7*, austenitizat la *850 °C* și călit în apă.

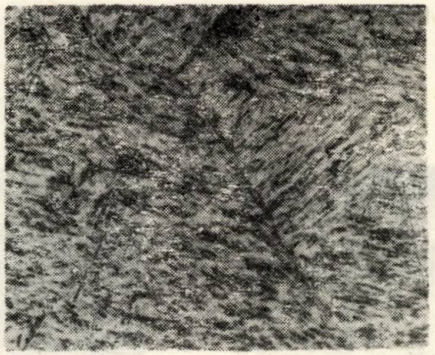


*Fig. 9.* Microstructura oțelului *nr. 7*, austenitizat la 1 200 °C și călit în apă.

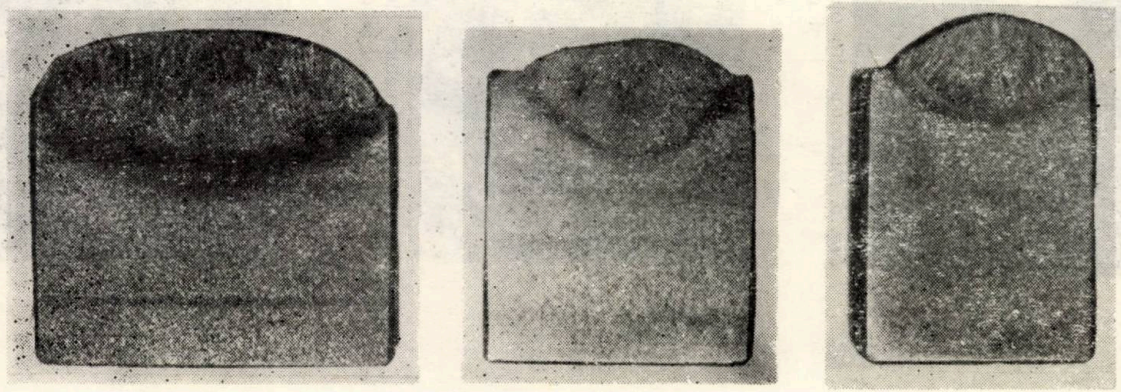


*Fig. 10.* Aspectul zonei influențate termic la depunerea cusăturilor cu cele *3* regimuri de sudare arătate în tabela *5*.

*Tabela 6*

**Rezilienţele sub cordon ale oţelurilor cercetate**

| Oţel nr. | Regim nr. | Rezistenţa metalului de bază K $\frac{m\ kgf}{cm^2}$ | Rezilienţa sub cordon la temperatura de: | | $\frac{K'}{K}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | +20 °C (K') | —35 °C | |
| 1 | I | 13,65 | 18,80 | 4,00 | 1,380 |
| | II | | 18,70 | 0,80 | 1,370 |
| | III | | 18,00 | 1,10 | 1,320 |
| 2 | I | 11,70 | 11,60 | 3,95 | 0,990 |
| | II | | 7,90 | 0,60 | 0,676 |
| | III | | 11,40 | 0,90 | 0,975 |
| 3 | I | 9,30 | 11,80 | 3,80 | 1,370 |
| | II | | 8,40 | 0,70 | 0,894 |
| | III | | 9,40 | 0,85 | 1,010 |
| 4 | I | 5,75 | 11,10 | 3,40 | 1,930 |
| | II | | 6,90 | 0,70 | 1,200 |
| | III | | 8,60 | 0,80 | 1,495 |
| 5 | I | 3,70 | 3,40 | 3,00 | 0,920 |
| | II | | 4,00 | 0,75 | 1,082 |
| | III | | 4,90 | 0,85 | 1,325 |
| 6 | I | 5,80 | 7,30 | 3,20 | 1,260 |
| | II | | 4,50 | 0,80 | 0,775 |
| | III | | 5,30 | 0,85 | 0,915 |
| 7 | I | 2,20 | 3,70 | — | 1,683 |
| | II | | 2,10 | — | 0,955 |
| | III | | 2,60 | — | 1,183 |

regimul de sudare, arată următoarea variaţie: la valori mari ale lui $P_1$ (*tabela 6*), rezilienţele sub cordon sînt mai mari decît ale metalului de bază. Cînd $P_1$ scade, rezilienţele sub cordon, în general, devin mai mici decît ale metalului de bază, pentruca la $P_1$ mic, să crească şi să ajungă la valori foarte apropiate de metalul de bază. Variaţia respectivă se explică prin extinderea tot mai mică a *ZIT*, odată cu scăderea lui $P_1$. La primul regim, *ZIT* este atît de extinsă încît fundul crestăturii epruvetei de rezilienţă se plasează în regiunea normalizată, acolo unde datorită finisării structurii, însuşirile plastice

au crescut. Acest fapt este confirmat și de măsurătorile de cîmp termic efectuate în timpul depunerii cusăturilor, care au arătat, în regiunea respectivă, temperaturi de 750 ... 850 °C. La al doilea regim, *ZIT* s-a restrîns, astfel că fundul crestăturii se plasează în regiunea în care, datorită temperaturilor de 180 ... 320 °C, cît s-au măsurat, respectiv a unor deformări plastice locale date de procesul sudării, are loc o îmbătrînire a oțelului. Desigur, gradul de îmbătrînire nu este cel determinat la punctul 3, fiindcă deformările plastice locale sînt mult mai mici de 10% cît s-a provocat acolo. Din cauza tendinței pronunțate spre îmbătrînire a oțelurilor cercetate, chiar asemenea deformări mici, produc fragilizări observabile. În fine, la al treilea regim, *ZIT* este foarte redusă și fundul crestăturii epruvetei de reziliență se plasează în metalul de bază neinfluențat termic, avînd deci aceleași valori ale rezilienței ca și oțelul nesudat, cu abateri caracteristice încercării.

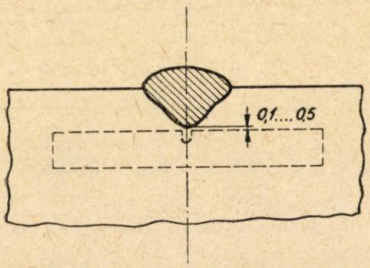



*Fig. 11.* Prelevarea epruvetelor pentru determinarea rezilienței sub cordon.

Pentru practică, această încercare arată că, la stabilirea tehnologiei de sudare, trebuie ținut seama că există puteri liniare ($P_l$), la care regiunile de fragilizare din *ZIT* se extind în raport cu celelalte. Asemenea regimuri, cum a fost în cazul nostru regimul II, trebuie evitate la executarea construcțiilor sudate.

*b*) Durităților maxime sub cordon se plasează în regiunea de transformare a *ZIT*, adică acolo unde temperaturile au fost deasupra liniei GS. În *figura 12* se arată durităților maxime sub cordon H și ale metalului de bază H′ ale oțelurilor cercetate. Se vede că ele cresc odată cu creșterea conținutului în carbon a oțelurilor și cu scăderea lui $P_l$, respectiv cu creșterea vitezei de sudare. În aceeași figură s-a reprezentat și raportul H/H′, care crește mult odată cu mărirea conținutului în carbon a oțelului. Aceasta arată influența preponderentă a carbonului asupra tendinței spre durificare a oțelurilor.

*8.* Proba de sudabilitate Čabelka executată pe tablele din oțelurile cercetate a dat următorul rezultat: la oțelurile nr. 1, 2, 3, 4 și 5, adică pînă la un conținut în carbon de 0,35%, rezilienței minime în *ZIT* au fost peste 3,5 mkgf/cm$^2$, ceea ce înseamnă că sînt sudabile după Čabelka. La oțelurile 6 și 7, s-au înregistrat rezilienței în *ZIT* sub limita admisă de Čabelka, ceea ce înseamnă că nu sînt sudabile fără precauții speciale.

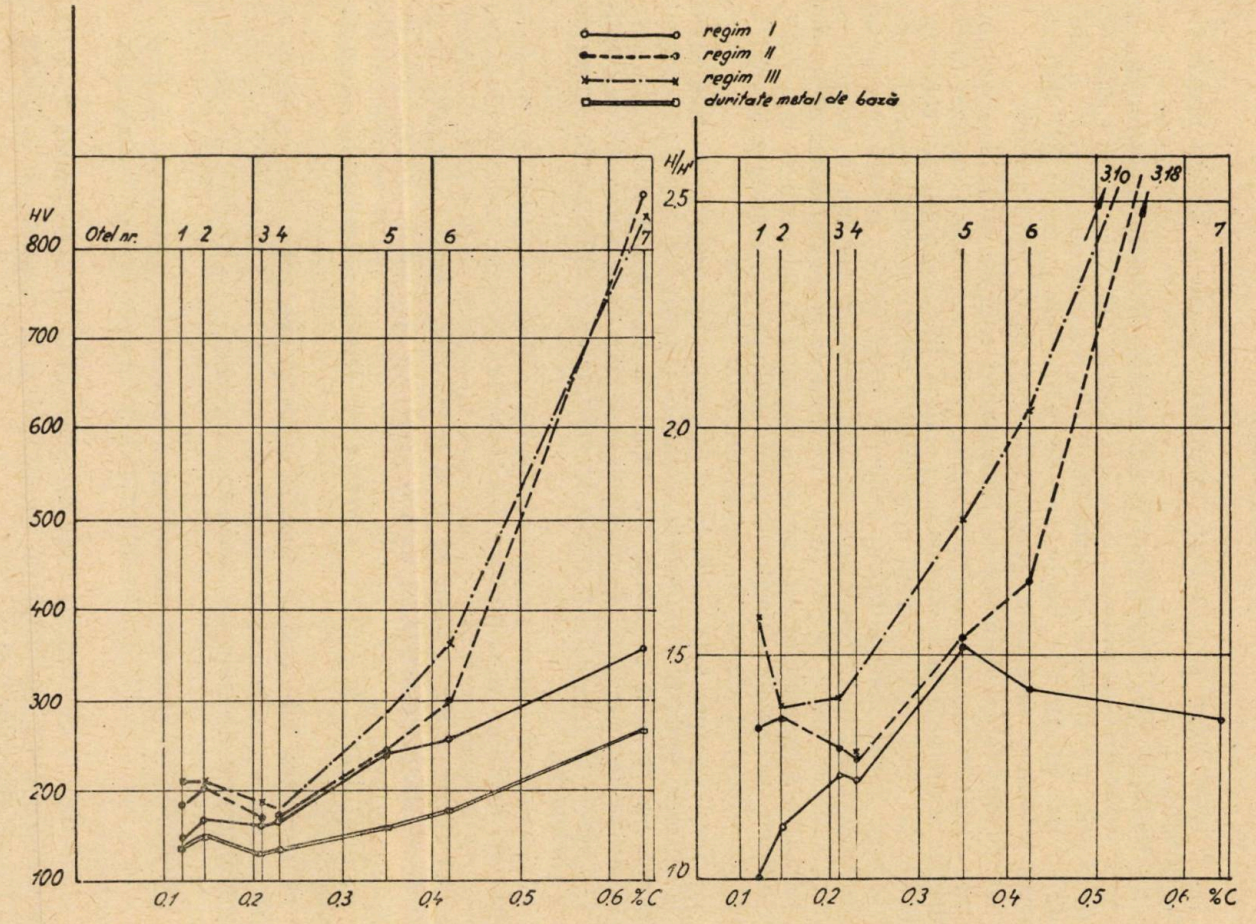



*Fig. 12.* Duritatea maximă sub cordon și duritatea metalului de bază la oțelurile cercetate.

## C. CONCLUZII

9. Privind în ansamblu toate încercările făcute se obține următorul tablou sinoptic :

*a*) Tendința spre îmbătrînire arată indirect influența conținutului în gaze și a repartiției atomilor de gaze în structura oțelului asupra gradului său de plasticitate. În cazul oțelurilor cercetate, s-a constatat că toate înclină pronunțat spre îmbătrînire. Fenomenul de îmbătrînire apare în *ZIT* datorită ciclurilor termice și tensiunilor proprii introduse de procesul sudării.

*b*) Comportarea oțelurilor la temperaturi scăzute arată temperatura sub care oțelul își pierde însușirile plastice și deci nu poate fi utilizat într-o construcție ce lucrează la asemenea temperaturi. În cazul oțelurilor cercetate, s-a evidențiat rolul preponderent al fosforului asupra tendinței spre fragilizare la rece. Astfel, conținuturi în fosfor de peste 0,03% fac ca să crească repede această tendință. Fenomenul de fragilizare la rece apare, evident, și în construcțiile metalice sudate, fiind accentuat de procesele metalurgice din *ZIT*. Comparînd rezilienţele sub cordon la regimul II determinate la —35 °C (*tabela 6*) cu rezilienţele oțelurilor în starea de livrare determinate la —50 °C (*tabela 3*), vedem că ele sînt de același ordin de mărime.

*c*) Tendința spre supraîncălzire a oțelurilor are importanță fiindcă în *ZIT* se întîlnesc totdeauna regiuni încălzite la temperaturi înalte din cîmpul austenitic. La oțelurile cercetate, s-a văzut că ele înclină mai puțin spre supraîncălzire, decît normal. Rezilienţele oțelurilor după austenitizarea aplicată (*tabela 4*) sînt de același ordin de mărime cu rezilienţele în starea de livrare (*tabela 2*).

*d*) Tendința de călire scoate în evidență inclinația oțelului spre formare de structuri de călire și semicălire. La oțelurile cercetate, această încercare a arătat că oțelurile nr. 6 și 7 — deci max. C=0,35% — la viteze de răcire peste 250 °C, respectiv oțelurile nr. 5, 6 și 7 — deci max. C=0,23% — la viteze de răcire peste 600 °C/s, înclină periculos spre călire. Fenomenul de călire este frecvent în *ZIT* datorită vitezelor mari de răcire ce apar acolo.

*e*) Fragilizarea la revenire a arătat că oțelurile cercetate nu prezintă inconveniente.

*f*) Rezilienţa sub cordon a scos în evidență existența unor regimuri de sudare la care regiunile fragile din *ZIT* au extinderi mai mari decît regiunile îmbunătățite prin normalizare. Asemenea regimuri s-au întîlnit la toate oțelurile cercetate, ele trebuind a fi evitate în practică.

*g*) Duritatea maximă sub cordon a arătat că oțelurile nr. 5, 6 și 7 înclină spre formare de constituenți fragili și că deci, nu pot fi sudate decît cu precauții.

*h*) Proba de sudabilitate Čabelka, aplicată la oțelurile cercetate, a dat o sudabilitate bună oțelurilor nr. 1, 2, 3, 4 și 5, respectiv o sudabilitate condiționată oțelurilor 6 și 7.

*10.* Tabloul sinoptic ne arată că încercările d, g și h au dat verdicte asemănătoare, cea mai severă fiind încercarea g, adică duritatea maximă sub cordon. În consecință, la cercetarea comportării la sudare a unui oțel duritatea maximă sub cordon poate suplini cercetarea tendinței spre călire și, parțial, proba Čabelka. Determinarea durității sub cordon are, față de încercările d și h două avantaje : se execută mai simplu în practică, adică este mai economică și materialul rămas (table cu cordoanele sudate) se poate folosi la proba f. Dacă încercarea durității sub cordon se completează cu determinarea tendinței spre îmbătrînire, atunci proba de sudabilitate Čabelka nu mai este necesară.

Celelalte încercări, avînd ca obiect fenomene caracteristice, mult diferite de altele, nu se acoperă nici măcar parțial și deci nu se pot suplini reciproc.

*11.* În concluzie, *pentru cercetarea de laborator a comportării la sudare a unui tip nou de oțel sînt necesare următoarele încercări* : tendința spre îmbătrînire, comportarea la temperaturi scăzute, tendința spre supraîncălzire, fragilitatea la revenire, rezilienta sub cordon și duritatea maximă sub cordon. La acestea se adaugă probe caracteristice în cazul oțelurilor cu destinații speciale. De exemplu la oțelurile inoxidabile cu crom și nichel sînt de făcut și probele de coroziune, precipitare de carburi și de fază σ, determinarea cantității de ferită și altele.

*Pentru controlul curent al unor oțeluri, la care probele de laborator au fost executate în prealabil, sînt necesare următoarele încercări :* duritatea maximă sub cordon, tendința spre îmbătrînire și, dacă destinația sa o cere, comportarea la temperaturi scăzute. Bineînțeles și aici, la oțelurile cu destinații speciale, trebuie adăugate probe caracteristice.

## BIBLIOGRAFIE

1. Acad. C. Mikloși (1956): Sudabilitatea ca problemă științifică. *Broșura celei de-a II-a Consfătuiri de sudură și încercări de metale.* Timișoara.
2. Acad. J. Čabelka (1956): *Schweissbarkeitsprüfung.* Ed. V.U.S. — Bratislava.
3. Acad. Șt. Nădășan și colectiv (1966): *Încercări de metale.* Ed. tehnică, București.
4. T. Sălăgean (1963): *Fenomene fizice și metalurgice la sudarea oțelurilor cu arcul electric.* Ed. Academiei, București.
5. H. Gerbeaux și J. P. Vildeau (1966): Rélation entre la dureté sous cordon et le comportement mécanique des assemblages, soudés en acier 52. *Soudage et techniques connexes, 7/8.*

*Manuscris primit în septembrie, 1967*

# SENSIBILITATEA LA RUPERE ÎNCETINITĂ UN NOU CRITERIU DE SUDABILITATE A OȚELURILOR DE ÎNALTĂ REZISTENȚĂ

Acad. J. ČABELKA,
*Academia de științe, Bratislava*

*C. MILLION*
*Institutul de cercetări tehnologice pentru construcții de mașini, București*

În baza particularităților formelor de manifestare ale ruperilor încetinite în îmbinări sudate, se determină rolul hidrogenului asupra acestor ruperi.

În acest scop se stabilesc caracteristicile ruperii încetinite — $\sigma=f(t)$ — în diferite condiții apropiate de suduri reale. Valoarea tensiunii limită inferioară ($\sigma_i$) se ia drept criteriu de bază pentru aprecierea sudabilității oțelurilor de înaltă rezistență. Influența hidrogenului asupra sudabilității oțelului se exprimă prin scăderea procentuală a acestei tensiuni limită, la o concentrație convențională de hidrogen introdus prin sudare.

Prin interpretarea rezultatelor obținute se fac propuneri în vederea îmbunătățirii sudabilității oțelurilor de înaltă rezistență.

La cea de a V-a conferință de sudură și încercări de metale a Academiei Republicii Socialiste România au fost prezentate rezultatele unor cercetări statistice asupra fenomenului de fisurare încetinită, care apare la sudarea oțelurilor de înaltă rezistență [1]. O nouă fază de cercetare a condus la concluzii cu caracter mai general, în baza cărora tendința de rupere încetinită a oțelurilor va putea constitui un nou criteriu de sudabilitate.

În prima fază de cercetare s-a produs un număr mare de fisuri prin sudarea unor oțeluri cu 13% Cr respectiv 0,45% C, constatîndu-se că după anumite intervale de timp se formează fisuri care au caracterul unor ruperi încetinite. S-a arătat că aceste ruperi se manifestă sub forma a patru tipuri de fisuri, localizate în zona de transformare a îmbinării sudate.

Actualele ipoteze ale mecanismului de rupere încetinită oferă pentru explicarea acestor fisuri două ipoteze independente și fundamental opuse. Ele sînt cunoscute sub numele autorilor lor : Troiano [2] și Mazanec [3]. Întrucît ambii autori au elaborat teoria lor pe baza unor cercetări de labo-

rator pe epruvete pregătite prin călire clasică și nu prin sudare, la aplicarea lor în cazul epruvetelor sudate trebuie luate în considerare fenomenele specifice ce au loc în îmbinările sudate reale ale oțelurilor de înaltă rezistență. Înainte de toate, călirea zonei de transformare a îmbinării sudate are loc în condiții complexe, impuse de fenomenele fizice și metalurgice specifice procesului de sudare cu arc electric.

Studiul celor patru feluri de fisurări încetinite găsite în îmbinări sudate [1], dă întîietate teoriei lui Mazanec, care explică ruperea încetinită în martensită cu ajutorul dislocațiilor și microdefectelor ce se produc în cursul transformării de fază austenită-martensită. Există însă un singur fel de fisurare, așa numita „fisurare sub-cordon', care se produce în prezența unor cantități însemnate de hidrogen (introdus prin sudare din învelișul electrozilor), sprijinind prin aceasta teoria lui Troiano, care explică originea ruperilor încetinite în baza acțiunii fragilizante a hidrogenului, printr-un mecanism nou, bazat pe difuzia eterogenă a hidrogenului sub influența unor cîmpuri de tensiuni triaxiale de întindere.

Pentru a pune cît mai fidel în evidență mecanismul de fisurare încetinită, a fost examinată mai îndeaproape dependența între durata după care apare ruperea și mărimea tensiunilor de întindere, în condițiile martensitei formate la sudare. Scopul principal urmărit în această fază de cercetare, a fost lămurirea cauzei pentru care fisurile subcordon nu apar fără intervenția hidrogenului, pe cînd celelalte trei feluri de fisuri (fisurile transversale, de racordare și de trecere) se produc în mod curent și fără hidrogen.

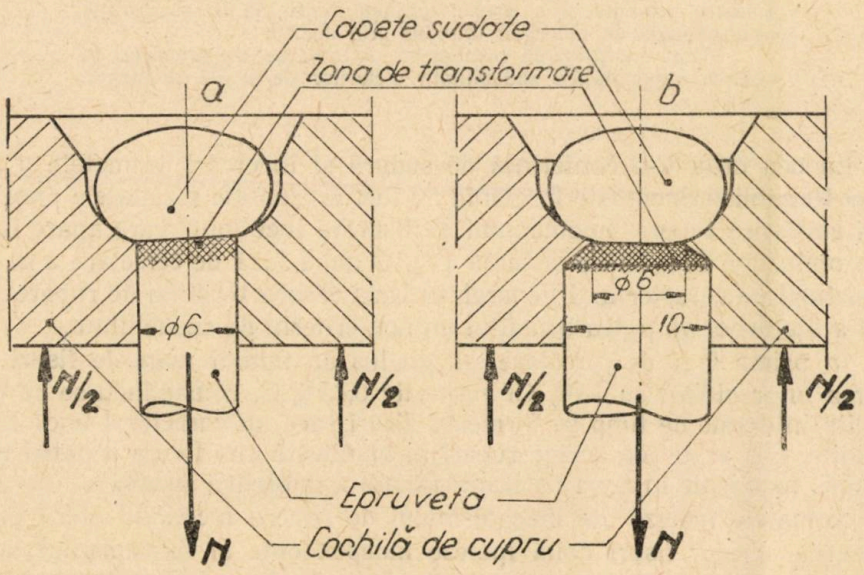



*Fig. 1.* Principiul metodei de încercare la tracțiune a epruvetelor cu capete sudate, pentru studiul ruperilor încetinite.

Metoda de cercetare folosită, se bazează pe observația făcută în prima fază a lucrărilor [1], că toate cele patru feluri de fisuri au tendința de a se iniția în același domeniu al zonei de transformare și anume în regiunea de localizare a fisurii subcordon. De aceea s-a urmărit realizarea unei epruvete sudate cu o zonă de transformare cît mai uniformă, care să poată fi supusă unor tensiuni de întindere controlabile. Pe acest principiu a fost elaborată metoda „capetelor sudate", reprezentată schematic în *figura 1.*

Cochila de cupru în care s-au sudat capetele epruvetelor de $\phi$ 6 mm a fost montată direct pe o instalație de solicitare la întindere, a cărei fotografie este redată în *figura 2.*

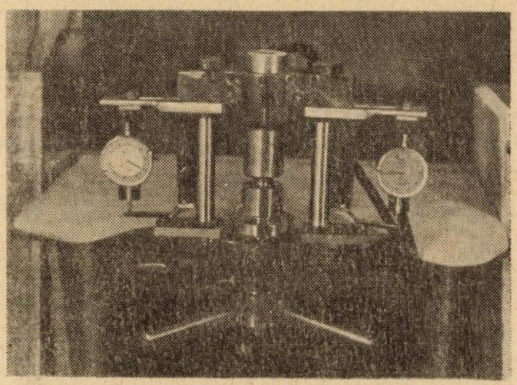


*Fig. 2.* Fotografia instalației de încercare la tracțiune pentru ridicarea caracteristicilor ruperii încetinite.

Cu ajutorul acestei instalații a fost examinată dependența dintre mărimea tensiunilor de rupere ale epruvetelor și durata după care se produce ruperea la diferite forțe de întindere. Pentru stabilirea factorilor care influențează această dependență, au fost examinate atît epruvete nesudate (*fig. 3 a* și *b*) cît și epruvete sudate (*fig. 3 c* și *d*).

În acțiunea hidrogenului asupra ruperii încetinite specifice îmbinărilor sudate, s-a făcut o distincție netă dintre două faze ale intervenției hidrogenului. În primul rînd acesta ajunge în zona de transformare încă în timpul sudării [12], cînd această zonă se află încă în faza $\gamma$. Prin urmare hidrogenul poate acționa însăși asupra transformării de fază $\gamma$—$\alpha$ în cursul reacției martensitice (acțiunea primară a hidrogenului). Pe de altă parte, hidrogenul poate ajunge în zona de transformare prin difuzia sa din cusătură, după terminarea reacției martensitice, influențînd atît procesul formării germenilor viitoarelor fisuri, dar mai ales, activizînd propagarea fisurii (acțiunea secundară, sau ulterioară a hidrogenului).

Pentru verificarea acestei ipoteze, epruvetele sudate au fost întîi executate cu electrozi cu conținut neglijabil de hidrogen (1,5—2,5 ml/100 g), stabilindu-se caracteristica de rupere a zonei de transformare fără prezența hidrogenului. Apoi capetele sudate ale unor epruvete asemănătoare au fost încărcate catodic cu hidrogen, avînd posibilitatea să ajungă prin difuzie în zona de transformare. Cu ajutorul acestor epruvete s-a examinat influența hidrogenului secundar asupra caracteristicii de rupere. Trecînd în fine la sudarea unor epruvete cu electrozi cu conținut ridicat de hidrogen (20—25 ml/100 g), s-a controlat influența hidrogenului primar asupra reacției martensitice în zona de transformare, stabilind caracteristica de rupere cea mai apropiată condițiilor de fisurare încetinită din îmbinări sudate reale.

Rezultatele obținute prin această metodă au confirmat încă o dată puternicul caracter statistic al ruperilor încetinite. Durata de rupere a fost foarte dispersată în special la valori reduse ale tensiunilor de întindere și

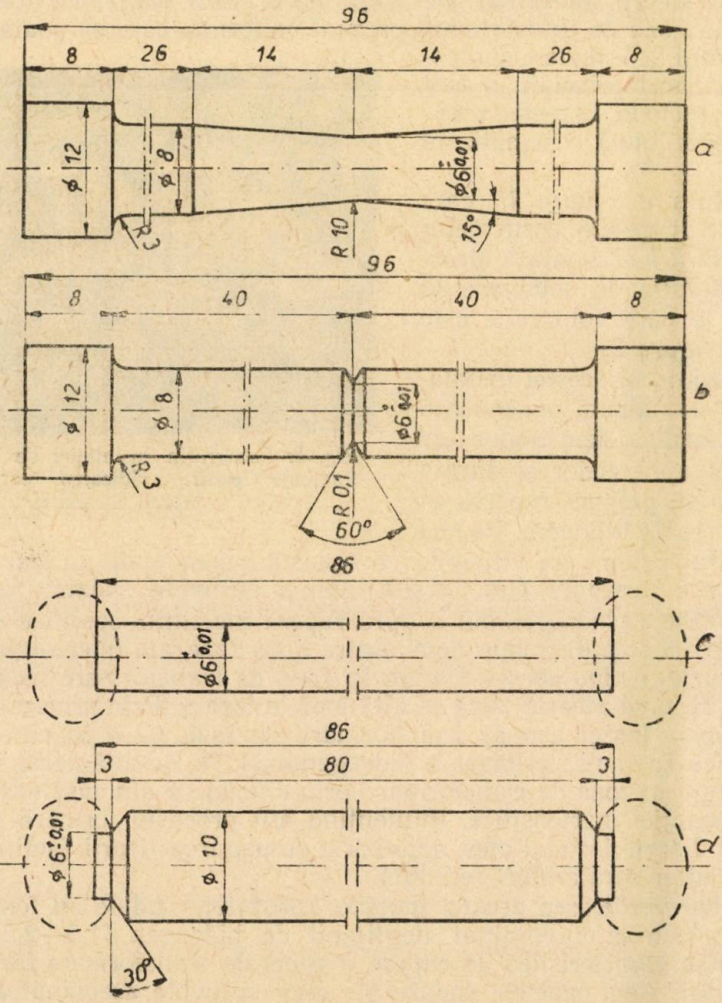



*Fig. 3.* Forma epruvetelor folosite pentru stabilirea caracteristicilor ruperii încetinite:
*a—b* — epruvete nesudate; *c—d* — epruvete sudate.

numai un număr mare de încercări a permis trasarea unor caracteristici cu alură continuă (*fig. 4*). Împrăștierea pronunțată în măsurători s-a observat de asemenea la temperaturi și durate superioare de austenitizare, ceea ce

confirmă influența puternică a ciclului termic de sudare asupra procesului de fisurare încetinită [4]. Important este însă faptul că, martensita" proaspăt călită" a materialului de bază nesudat (temperatura de austenitizare 1 100 °C timp de 30 sec.) prezintă caracteristici de rupere asemănătoare cu cele stabilite de K. Mazanec, atît pentru epruvete crestate cît și necrestate. Alură

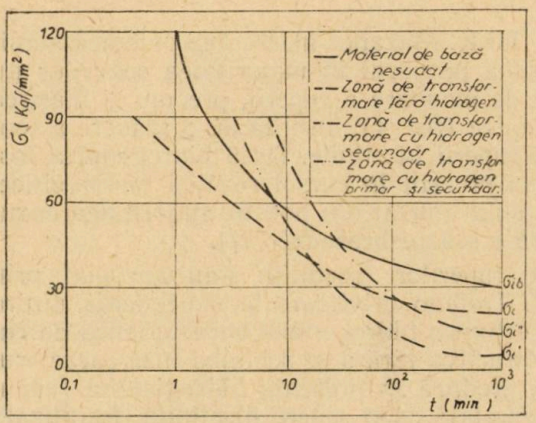



*Fig. 4.* Caracteristicile ruperii încetinite în epruvete nesudate, respectiv sudate și influența hidrogenului asupra acestor caracteristici.

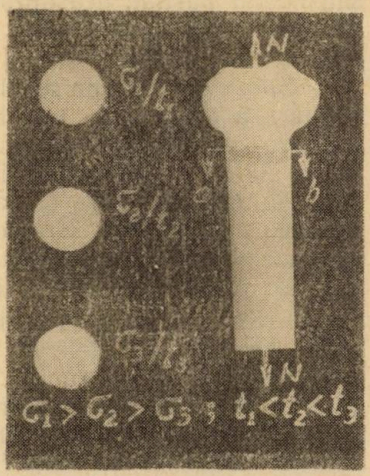



*Fig. 5.* Secțiunea epruvetelor (sudate) de rupere încetinită prin tracțiune, cu indicarea secțiunii critice de rupere și a aspectului suprafețelor de rupere la diferite eforturi de întindere ($\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$) și durate de rupere ($t_1 < t_2 < t_3$).

asemănătoare au și caracteristicile ruperilor încetinite produse în epruvete sudate, atît în prezența cît și în absența hidrogenului, ruperea producîndu-se sistematic în secțiunea superioară a zonei de transformare (*fig. 5*) unde materialul a fost supraîncălzit, gradul de călire cel mai intens și mărimea grăunților maximă, adică tocmai în așa numita regiune „sub-cordon".

Suprafețele rupturilor au prezentat aspectul tipic al ruperilor încetinite, asemănător celor găsite de A. R. Troiano [2]. Ruperea s-a produs prin propagarea „încetinită" a fisurii (porțiunea netedă a suprafețelor de rupere) pînă la depășirea rezistenței coezive a secțiunii încă nefisurate, cînd epruveta s-a rupt brusc (porțiunea grăunțoasă a suprafeței de rupere). La solicitări mari și perioade de încubare scurte, ruperea încetinită propriu-zisă („oboseala statică") a fost mai puțin pronunțată și procesul de rupere se apropie ruperii fragile. S-a observat însă adesea, că ruperea încetinită se poate manifesta și sub forma unor ruperi grăunțoase omogene, fără porțiuni distincte de „oboseală statică", chiar și la tensiuni foarte reduse de întindere, (uneori

sub 10 kgf/mm$^2$), în care caz duratele de rupere se reduc la intervale de ordinul secundelor.

Acest fel de ruperi au apărut mai ales în epruvete sudate la conținuturi ridicate de hidrogen, cît și în cazul unor suduri cu electrozi austenitici: în cazul din urmă s-a constatat totodată că ruperea se deplasează în întregime, sau numai parțial, deasupra liniei de fuziune, ceea ce confirmă caracterul fisurilor găsite după sudare cu electrozi austenitici, localizate în regiuni de diluare ale zonei de trecere [1].

Spre deosebire de rezultatele lui K. Mazanec încărcarea catodică suplimentară a epruvetelor cu hidrogen a provocat în majoritatea cazurilor nu scurtarea ci prelungirea perioadei de incubare a ruperii, precum și mărirea pantei $\Delta\sigma/\Delta t$ a caracteristicii de rupere (*fig. 4*), însoțită de o scădere a tensiunii limită inferioare ($\sigma_i'' < \sigma_i$) a ruperii încetinite. Dacă hidrogenul a fost introdus prin sudare, și a fost deci prezent în cursul reacției martensitice, perioadele de incubare ale ruperii s-au scurtat din nou în majoritatea cazurilor, iar tensiunea limită inferioară a scăzut brusc ($\sigma_i' < \sigma_i''$).

Prin aceasta caracteristicile ruperilor încetinite s-au apropiat prin forma lor de rezultatele lui A. R. Troiano privitoare la dependența dintre tensiune și durata de rupere. Sub acțiunea hidrogenului caracteristica de rupere încetinită se poate deforma întrucîtva fără a se schimba însă caracterul ei de bază. În acest sens ruperea produsă în prezența hidrogenului (cazul fisurilor subcordon), poate fi interpretată ca o rupere încetinită, fragilizată datorită hidrogenului.

Această observație permite să se clarifice întrucîtva nelămurirea esențială dintre cele două ipoteze fundamentale ale ruperii încetinite: acest fel de rupere este o consecință a proceselor interne ce se pot produce în martensita proaspăt călită conform teoriei elaborate de K. Mazanec; hidrogenul poate ușura ruperea, prin acțiunea sa clasică, fragilizantă, și teoria lui A. R. Troiano poate fi valabilă numai în acest sens și nu ca teorie generală a ruperii încetinite. „Oboseala statică" nu poate fi deci caracterizată în general ca un proces datorit hidrogenului [2], întrucît fenomenul de bază al ruperii încetinite are loc și fără acțiunea acestuia. Fragilizarea datorită hidrogenului poate însă să se desfășoare nu numai în baza „teoriei tensiunilor triaxiale maxime" a lui Troiano; în cazul fragilizării martensitei se confirmă mai de grabă alte teorii de fragilizare datorită hidrogenului, ca de exemplu cea bazată pe fenomenele de adsorbție elaborată de Petch.

Prelungirea perioadelor de incubare ale ruperii sub acțiunea hidrogenului secundar, poate fi consecința tendinței atomilor de hidrogen de a ocupa prin difuzie spațiile libere ale defectelor de rețea și să reducă prin aceasta întrucîtva mobilitatea noilor dislocații produse în cursul reacției martensitice.

Întrucît tensiunile de contracție din suduri își exercită în mod persistent acțiunea lor asupra mișcării dislocațiilor, această mișcare încetinită continuă pînă la întîlnirea unor obstacole capabile să blocheze dislocațiile. Prezența hidrogenului reduce probabil chiar și capacitatea dislocațiilor de a se desprinde de obstacole, astfel că blocarea lor are loc chiar și la obstacole mici

din interiorul grăunților. Îngrămădirea dislocațiilor la microdefecte, necesară genezei germenilor fisurilor, se poate deci desfășura nu numai la granița grăunților originari de austenită, cum preconizau o serie de alți autori. Astfel se explică și faptul că spre deosebire de fisurile încetinite obținute de K. Mazanec, care erau în proporție de 70—80% intergranulare, fisurile găsite de noi în zona de transformare a îmbinărilor sudate au parcurs uneori 100% intragranular și numai în cazuri rare intergranular.

O înșirare de dislocații poate fi stabilizată sub forma unei microfisuri inițiale prin îngrămădirea a cîtorva sute de dislocații. Calculele au arătat, că pentru formarea unor astfel de îngrămădiri sînt necesare înșirări cu lungimea în jur de 5 μ [7], la tensiuni de forfecare de $4 \ldots 5 \times 10^9$ dyn/cm$^2$. Chiar dacă tensiuni de ordinul acestor mărimi se pot forma prin contracția termică a sudurilor, formarea microfisurii este posibilă numai în acele cristale a căror dimensiune este mai mare de 5 μ. În condiții normale de călire, blocurile individuale de martensită — care au de obicei orientări foarte diferite, nu pot atinge cu ușurință dimensiuni atît de mari. De aceea, pentru cazul îmbinărilor sudate, trebuie să presupunem că în zona lor de transformare există condiții specifice de favorizare a creșterii blocurilor martensitice, care înlesnesc procesul formării microfisurilor. Din aceste considerente au fost examinate mai îndeaproape particularitățile transformărilor de fază din zona de influență termică ale îmbinărilor sudate.

Cauzele și mecanismul individual al formării fiecărui tip de fisură încetinită, specifică sudurii, trebuie căutate în proprietățile reacției martensitice din zona de transformare a îmbinărilor sudate. Fenomenele termice și transformările structurale ce au loc în această zonă, se caracterizează printr-o desfășurare deosebit de eterogenă și de rapidă. Studiind cazul cordoanelor de sudură depuse pe epruvete strînse într-o cochilă de cupru, zona de transformare de sub cusătura sudată avea grosimea în jur de 3 mm (*fig. 6 a*). În această zonă îngustă temperatura de austenitizare este la o extremitate de 1 400 °C (punctul 1), iar la cealaltă (punctul 6) numai în jur de 780 °C. Locul critic de fisurare încetinită corespunde porțiunii din imediata vecinătate a punctului 1, adică în fîșia aflată aproximativ între punctele 1 și 3. În această regiune este ridicată nu numai temperatura de austenitizare, dar și durata ei este maximă.

Ciclurile termice ale punctelor 1—6 (*fig. 6 b*) arată totodată că în punctul 1 este maximă și viteza de răcire. Din această cauză în punctul 2 duritatea măsurată avea de exemplu valoarea 650 Hv, pe cînd în punctul 5 duritatea era numai de 320 Hv.

Aceste constatări au fost obținute pe de o parte prin cercetarea metalografică a zonei de transformare a epruvetei, pe de altă parte ele au fost confirmate de măsurători locale de duritate, care la rîndul lor au fost comparate cu datele din diagrama de descompunere continuă a austenitei pentru materialul utilizat.

În ceea ce privește mărimea grăunților, observațiile făcute sînt foarte semnificative. În zona supraîncălzită de sub linia de fuziune aria secțiunii

grăunților a întrecut deseori valoarea de 0,20 mm², ajungînd chiar la 0,30 mm². Date din literatură [8] asupra creșterii grăunților (în oțeluri asemănătoare celui folosit în experiențele noastre), indică o dinamică de creștere conform curbei din *fig. 6 b* (curba continuă). Creșterea bruscă a grăunților de austenită corespunde unei durate de menținere a materialului deasupra temperaturii de transformare $A_1$ de peste 20 s. În cazul nostru durata de

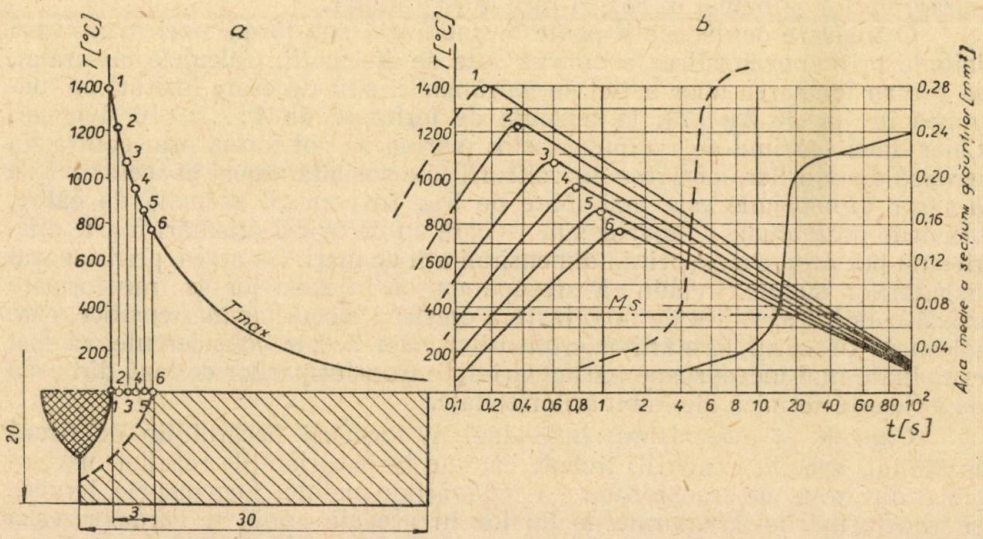



*Fig. 6.* Ciclurile termice și variația mărimii grăunților originari de austenită în diferite puncte ale zonei de transformare produsă prin sudare.

menținere peste $A_1$ a fost mai scurtă, totuși mărimea grăunților a întrecut frecvent valoarea medie de 0,20 mm². Aceasta înseamnă că temperatura înaltă de austenitizare (1 400 °C) în punctele 1 și 2 ale zonei de transformare (*fig. 6 a*), intensifică dinamica de creștere a grăunților din această regiune. Întreaga curbă de creștere a grăunților se situează în cazul nostru mai la stînga (curba întreruptă *fig. 6 b*), iar valoarea maximă a mărimii medii a grăunților va fi mai ridicată.

Faptul că reacția martensitică începe la periferia zonei de transformare (punctul 6) și înaintează spre cusătură, însoțită de o intensificare și accelerare progresivă a acestei reacții, poate juca un rol însemnat asupra fisurării încetinite în ultima fîșie transformată.

Linia de delimitare dintre materialul deja transformat și încă netransformat este o graniță de fază, unde procesul de transformare este însoțit simultan atît de procese de forfecare cît și de dilatare [11]. Toate teoriile formării" germenilor ruperii" [5]—[9] interpretează inițierea fisurii ca o aglomerare de dislocații cu vectorul Burgers de valoare mărită, născut prin coalescența unor dislocații acumulate sub acțiunea cîmpului de tensiuni.

Acestui proces îi poate corespunde de exemplu relația lui Stroh, conform căreia lungimea acumulărilor de dislocații (L) care poate fi stabilizată sub forma unei fisuri inițiale este :

$$L = 2n \frac{G\, b.}{2\pi (1-\nu)\, \tau}$$

în care :

- n este numărul dislocațiilor acumulate ;
- G — modulul de elasticitate transversal ;
- b — vectorul Burgers al dislocației ;
- $\nu$ — constanta lui Poisson ;
- $\tau$ — tensiunea de forfecare necesară inițierii fisurii.

Nașterea fisurii depinde prin urmare direct de numărul dislocațiilor în material și de tensiunile de alunecare ce acționează asupra lor.

Este foarte probabil, că procesul de geneză a fisurii este intensificat tocmai prin fenomenele eterogene specifice ce au loc în zona de transformare a sudurii, care contribuie la mărirea numărului noilor microdefecte formate și mărirea tensiunilor de alunecare producătoare de microfisuri.

Această presupunere este nemijlocit susținută de observațiile amintite, potrivit cărora inițierea fisurării se localizează în apropierea liniei de fuziune, adică tocmai în regiunea în care densitatea noilor dislocații este maximă și în care apar cel mai pronunțat fenomenele de transformare forfecantă.

Micromecanismul genezei germenilor fisurilor este în mare măsură promovat și de mărimea grăunților de austenită (d), asemănător fenomenelor similare ce au loc în oțelul moale. Este cunoscut, că acumularea maximă de dislocații se atinge în acel caz, cînd planul de alunecare traversează întregul grăunte și că fisura se poate produce dacă $L \geqslant d/4$ [7].

Influența mărimii grăunților asupra valorii rezistenței la rupere este dată prin relația :

$$\sigma = \left[\frac{6\pi \cdot \gamma \cdot G}{1-\nu}\right]^{1/2} \cdot \left(\frac{1}{d}\right)^{1/2}$$

din care rezultă, că între $\sigma$ și $\sqrt{\frac{1}{d}}$ există o dependență liniară.

Această dependență a fost verificată de o serie de cercetători, iar Petch a dovedit valabilitatea ei pentru oțel. Acumularea necesară a dislocațiilor la obstacolele ce intervin în micșarea lor, se poate însă produce numai în cazul, dacă tensiunile exterioare (în cazul nostru tensiunile de contracție în sudură) vor fi mai mari decît tensiunea critică $\sigma_0$, astfel că relația generală va avea forma

$$\sigma = \sigma_0 + K \cdot d^{-1/2}$$

Strîns legat de influența mărimii grăunților asupra rezistenței materialului este și rolul tensiunii specifice superficiale $\gamma$.

Substanţe active asupra tensiunii superficiale pot reduce valoarea lui $\gamma$ şi prin aceasta şi rezistenţa oţelului. Petch a elaborat pe acest principiu cunoscuta „teorie a adsorbţiei" pentru fragilitatea datorită hidrogenului, care poate explica cu precădere puternica influenţa a hidrogenului secundar în cazul fisurilor sub-cordon. Această presupunere vine în sprijinul acelei constatări, că hidrogenul secundar intensifică în special procesul de propagare a fisurilor subcordon, iar mecanismul iniţierii germenilor fisurilor poate să se desfăşoare şi fără contribuţia hidrogenului. Observaţiile lui Troiano asupra duratei necesare pentru localizarea hidrogenului în locurile critice pentru formarea fisurii pot fi în acest sens de asemenea valabile.

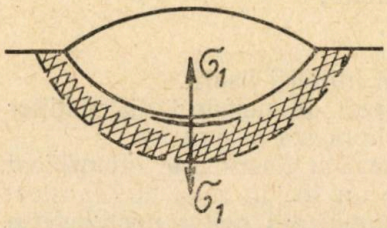



*Fig. 7.* Reprezentarea schematică a formării fisurii subcordon

În lumina rezultatelor obţinute pot fi făcute o serie de interpretări noi asupra mecanismului formării fisurilor începetinite în zona de transformare a îmbinărilor sudate.

Fisurile subcordon (*fig. 7*) se caracterizează prin interacţiunea mai multor factori cu influenţă critică asupra procesului de fisurare. Astfel de factori sînt conţinutul maxim de martensită (viteza maximă de răcire), dimensiunea maximă a grăunţilor originari de austenită (temperatură şi durată maximă de austenitizare), concentraţia maximă de hidrogen (menţinută şi în timp) etc. Toţi aceşti factori pot creea condiţii deosebit de favorabile pentru formarea fisurilor, chiar şi sub acţiunea unor tensiuni $\sigma_1$ relativ foarte mici. Astfel poate fi explicată cea mai importantă constatare făcută în cursul încercărilor — aceea că dependenţa $\sigma = f(t)$ are caracterul cel mai nefavorabil tocmai în cazul fisurilor subcordon, — tensiunea limită inferioară ($\sigma_i'$) scăzînd uşor sub 10 kgf/mm$^2$.

Dezvoltarea tensiunilor limită $\sigma_1 \geqslant \sigma_i'$ necesare pentru producerea fisurilor este înlesnită prin împrejurarea că, în momentul reacţiei martensitice la nivelul zonei de fisurare, zonele vecine sînt deja transformate (porţiunea haşurată în figură) şi cedează greu contracţiei cusăturii. Întreaga contracţie trebuie să o preia cusătura însuşi. Cu cît materialul cusăturii va avea rezistenţă mai mare şi plasticitate mai redusă, cu atît mai mari vor fi tensiunile $\sigma_1$ şi probabilitatea fisurării subcordon va fi mai mare.

Valoarea redusă a tensiunii limită inferioare ($\sigma_i'$) este legată probabil de condiţiile specifice de desfăşurare a reacţiei martensitice în zona de transformare a îmbinărilor sudate. În aceste condiţii se acumulează cu uşurinţă numărul necesar de dislocaţii n pentru formarea germenilor fisurării. Prin interacţiunea noilor dislocaţii uşor mobile, formate în cursul reacţiei martensitice, se produce propagarea acestor germeni de fisuri, pînă la apariţia ruperii locale.

Faptul, că fisurile subcordon apar numai sub acţiunea suplimentară a hidrogenului, este determinat probabil de împrejurarea, că componentele

$\sigma_1$ ale tensiunilor de contracție sînt de obicei reduse și mai mici decît tensiunea limită inferioară pentru fisurarea încetinită ($\sigma_1 < \sigma_i''$). Abia sub acțiunea dublă a hidrogenului (primară și secundară) această relație se inversează și fisurarea devine posibilă $\sqrt{(\sigma_1 > \sigma_i^3)}$.

Hidrogenul contribuie prin acțiunea sa și indirect asupra măririi lui $\sigma_1$ reducînd proprietățile plastice ale sudurii însăși, ceea ce este în practica curentă cel mai des caz. Mai exact, prin influența sa fragilizantă hidrogenul anulează pragul limitei de curgere a materialului cusăturii și creșterea lui $\sigma_1$ are loc în continuare, fără relaxare prin curgere.

S-a dovedit că în cazul unor electrozi bazici cu proprietăți plastice foarte bune (Böhler Fox EV-50, VUS-E-Ac 1) $\sigma_1$ a rămas sub valoarea lui $\sigma_i'$ și fisurile subcordon nu au apărut nici la conținuturi mai mari de hidrogen (20—25 cm³/100 g).

Fisurile transversale (*fig. 8*) se formează sub acțiunea componentelor transversale ale tensiunilor de contracție ($\sigma_2$). Inițierea fisurilor are loc în punctul (a) în mod asemănător ca în cazul fisurilor subcordon, bineînțeles dacă sînt create condițiile pentru formarea de tensiuni transversale suficient de mari pentru depășirea tensiunii limită inferioare de rupere încetinită. ($\sigma_2 \geqslant \sigma_i > \sigma_i'' > \sigma_i'$).

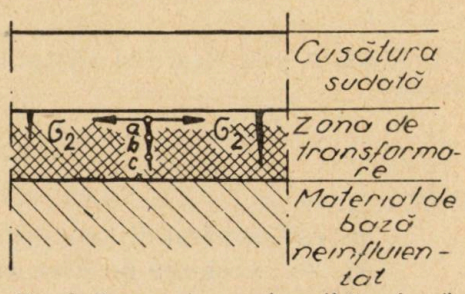



*Fig. 8.* Reprezentarea schematică a formării fisurilor transversale.

Pe măsura înaintării fisurii spre punctele (b) și (c) se reduce treptat sensibilitatea materialului la fisurare încetinită. De aceea la probe plane de încărcare prin sudură aceste fisuri au fost mai rare și s-au limitat numai la fisuri scurte în regiunea punctului (a). Abia cu ajutorul unor epruvete speciale aceste fisuri au dobîndit lungimi mai mari, trecînd prin întreaga zonă de transformare. Astfel de condiții apar în mod curent la sudarea în mai multe straturi ale grosimilor mari, cum a fost cazul deja amintit, la sudarea oțelului 13% Cr [1].

Fisurile de racordare (*fig. 9*) constituie cea mai caracteristică formă de manifestare a ruperii încetinite. În ciuda faptului că datorită absenței hidrogenului aceste fisuri au cea mai favorabilă caracteristică de rupere, ele pot avea totuși cea mai scurtă perioadă de incubare, ceea ce a fost dovedit direct de Sekiguchi și Kobayashi [10]. Aceste fisuri se pot forma uneori chiar după cîteva secunde, sau minute, adică practic, în martensita proaspăt formată.

Efectul de concentrare a tensiunilor în zona de racordare a sudurii promovează transformarea ruperii tenace în rupere fragilă, ceea ce se afirmă prin capacitatea fisurii inițiale (formate prin acțiunea dislocațiilor în planul de alunecare) de a se propaga ca fisură Griffith-Orowan. În acest caz mărimea absolută a tensiunii necesare pentru formarea fisurii, este mai

mult decît suficientă pentru propagarea ei. Este posibil că în aceste condiții este aplicabilă teoria lui Stroh despre formarea ruperii fragile.

Stroh compară, în baza datelor lui Griffith, tensiunea superficială a celor două suprafețe juvenile ale fisurii cu energia elastică de deformare

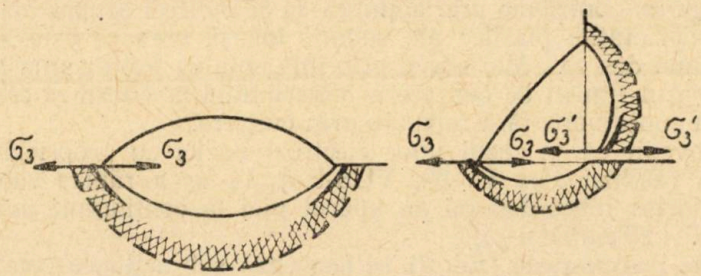



*Fig. 9.* Reprezentarea schematică a formării fisurilor de racordare.

dezvoltată în jurul fisurii și ajunge la următoarea condiție pentru formarea fisurii :

$$n > \frac{12\gamma}{b \cdot \tau a}$$

unde

- n este numărul dislocațiilor acumulate,
- $\tau_a$ — tensiunea de alunecare,
- $\gamma$ — energia specifică superficială,
- v — vectorul Burgers.

Inițierea fisurării în locul de racordare a cusăturii (fig. 9) unde $\sigma_3$ poate acționa perpendicular pe direcția inițierii ei, ne-o putem imagina ca un mecanism ce se desfășoară conform modelului propus de teoria dislocațiilor. În acest loc se produce o stare triaxială de tensiuni, astfel că în loc de tensiunea monoaxială $\sigma_3$ va acționa valoarea $q\sigma_3$ (unde q este factorul de concentrare a tensiunii). În aceste condiții noile dislocații ușor mobile, formate în cursul reacției martensitice, pot produce, prin interacțiunea lor cu germenii existenți ai fisurilor, propagarea rapidă a acestora pînă la apariția ruperii încetinite propriu-zise.

Mărimea grăunților are în cazul fisurilor de racordare o însemnătate mai mică decît în cazul fisurilor de tipul 1 și 2, deoarece influența termică este mai redusă în zonele de racordare la suprafața liberă a sudurii ; durata de austenitizare e mai redusă, deci grăunții de austenită nu au timp să crească exagerat. În zonele de racordare, la rădăcina sudurilor de colț tensiunile de contracție $\sigma_3$ pot fi mai reduse, în schimb aici durata de austenitizare este mai lungă, grăunții devin mai mari și în consecință probabilitatea formării fisurilor poate fi de asemenea mare.

Hidrogenul poate avea o influență directă asupra formării acestor fisuri numai la rădăcina cusăturilor de colț, mai însemnată este însă aici influența indirectă a hidrogenului, prin reducerea plasticității cusăturii propriu-zise.

Fisurile de trecere (*fig. 10*) — așa cum au arătat experiențele, se supun unui mecanism de formare similar celui al fisurilor subcordon. Particularitatea lor constă în aceea, că apar deasupra liniei de fuziune, în cazul folosirii de electrozi austenitici. În aceste condiții hidrogenul este reținut în cusătură și zona de transformare de sub linia de fuziune este ferită de influența reducerii tensiunii limită inferioare a ruperii încetinite. Deasupra liniei de fuziune însă se produc pe alocuri astfel de diluări locale ale cusăturii, încît în loc de o structură austenitică apar structuri aciculare, având o tendință pronunțată spre fisurare încetinită.

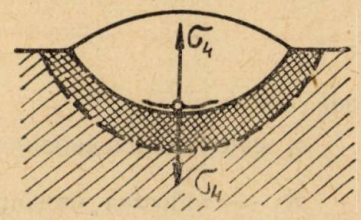



*Fig. 10.* Reprezentarea schematică a formării fisurilor de trecere (de diluare).

Fisurile de trecere au deci o tensiune limită inferioară deosebită de cea a materialului de bază, poate chiar mai mică ; condiția apariției fisurii este existența unor tensiuni locale mai mari decît această tensiune limită. Ținînd seama de coeficientul de contracție termică ridicat al oțelurilor austenitice, se poate înțelege ușor formarea unor tensiuni $\sigma_4$ suficient de mari pentru realizarea acestei condiții.

În aceste zone de diluări locale hidrogenul poate atinge concentrații deosebit de ridicate. Prin aceasta tensiunea limită inferioară de rupere încetinită a materialului diluat poate să scadă la valori foarte reduse, în care caz tendința de fisurare încetinită se intensifică considerabil.

Aceste ipoteze ale mecanismului de formare al fisurilor de trecere au fost confirmate și cu ajutorul metodei „capetelor sudate". În cazul folosirii unor electrozi austenitici, epruvete asemănătoare cu cele din *figura 5* au suferit ruperi nu în secțiunea (a—b), ci în secțiunea imediat deasupra liniei de fuziune. În majoritatea cazurilor însă, trecerea planului de rupere deasupra liniei de fuziune a fost numai parțială, întrucît diluări critice în această zonă se produc numai local.

Rezultatele cercetării efectuate dovedesc valabilitatea teoriei generale a lui K. Mazanec asupra mecanismului formării ruperilor încetinite și în cazul fisurării încetinite din zona de transformare a îmbinărilor sudate. Se adevereşte, că factorul esențial în formarea fisurilor încetinite nu este hidrogenul ci fenomenele specifice ale defectelor de rețea ce au loc în martensita proaspăt formată.

Împrejurarea că fisurile subcordon nu apar decît numai sub acțiunea suplimentară a hidrogenului, nu poate fi separată de particularitățile reacției martensitice în zona de transformare a sudurilor. Hidrogenul introdus prin sudare poate reduce puternic tensiunea limită inferioară necesară fisurării încetinite. Un rol însemnat în producerea fisurilor încetinite în piese

sudate, îl joacă fenomenele termice și metalurgice deosebit de eterogene ce au loc în zona de transformare a îmbinărilor sudate. Regiunile fisurării subcordon sînt cele mai sensibile la apariția fenomenelor de rupere încetinită, ceea ce a fost dovedit prin probele de rupere la întindere a epruvetelor cu capete sudate. Influența hidrogenului asupra sensibilității la formarea fisurilor încetinite ($\eta_H$), poate fi exprimată în procente prin relația :

$$\eta H = \frac{\sigma_i - \sigma_i'}{\sigma_i} \times 100$$

unde

$\sigma_i$ este valoarea tensiunii limită inferioară fără prezența hidrogenului, iar

$\sigma_i'$ — valoarea tensiunii limită inferioare în prezența hidrogenului (introdus prin sudare).

Valoarea lui $\eta_H$ depinde direct de cantitatea de hidrogen introdusă prin sudare și a variat în experiențele efectuate între 30—80%, în funcție de ciclurile termice utilizate la sudare și electrozii folosiți.

Celelalte tipuri de fisuri, pot apare în mod curent și fără prezența hidrogenului și asupra formării lor acționează o serie de factori, ca forma geometrică a îmbinării sudate, felul electrozilor, proprietățile mecanice ale sudurii însăși, ciclul termic de sudare etc.

Sensibilitatea ($\eta_{R.L}$) la rupere încetinită a unui oțel (fără intervenția hidrogenului) se exprimă direct din rezistența maximă de rupere ($\sigma_R$) dedusă din duritate și tensiunea limită inferioară ($\sigma_i$) conform relației

$$\eta_{R.I.} = 1 - \frac{\sigma_i}{\sigma_R},$$

iar ca criteriu direct de sudabilitate metalurgică a oțelului servește mărimea tensiunii limită $\sigma_i$.

## CONCLUZII

1. Fisurile care se formează în zona de transformare a îmbinărilor sudate ale oțelurilor de înaltă rezistență, au caracterul unor ruperi încetinite. Ele se formează în anumite intervale de timp, sub acțiunea unor tensiuni mai mici decît rezistența materialului în stare călită.

Mecanismul formării lor este rezultatul interacțiunii complexe dintre noile dislocații mobile și microdefectele cu efect de blocare, produse în cursul reacției martensitice.

Definițiile acestor fisuri ca „fisuri la rece", „fisuri în zona de influență", „fisuri datorită hidrogenului", „fisuri filiforme" etc., sînt incomplete și nu reflectă esența genezei lor.

2. Fisurile încetinite în zona de transformare a îmbinărilor sudate pot să se manifeste sub forma a patru tipuri principale : fisuri subcordon, transversale, de racordare și fisuri de trecere. Din punctul de vedere al sudabilității oțelurilor de înaltă rezistență este necesar să se facă o distincție netă între cele patru tipuri principale de fisuri. Mecanismul formării fiecărui tip în parte, are particularitățile sale individuale.

3. Regiunea critică de formare a fisurilor încetinite în îmbinarea sudată, este acea fîșie a zonei de transformare, în care se produce o structură martensitică cu grăunți mari, datorită supraîncălzirii puternice a materialului și datorită unui ciclu termic nefavorabil.

4. Condiția de bază a formării fisurilor încetinite constă în faptul că în zona aferentă de transformare tensiunile locale să depășească valoarea tensiunii limită inferioare specifică ruperii încetinite. Durata de apariție a fisurii ca și mărimea tensiunii limită inferioare este pentru fiecare tip de fisură variabilă și nu pot fi stabilite valori fixe ale așa numitei „perioade de incubare".

5. Reducerea valorii tensiunii limită inferioare a fisurării încetinite este puternic influențată de prezența hidrogenului în regiunea critică a zonei de transformare. De aceea acțiunea hidrogenului promovează în special formarea fisurilor subcordon, cu toate că tensiunile de contracție care le produc sînt în aceste locuri reduse.

Influența hidrogenului asupra mecanismului fisurării încetinite poate fi explicată prin două acțiuni distincte. Pe de o parte prezența sa în cursul reacției martensitice poate cauza o intensificare a „vehemenței" acestei reacții, mărind numărul noilor dislocații formate cît și a microdefectelor care servesc ca germeni de fisuri. În al doilea rînd, hidrogenul difuzibil poate produce o fragilizare clasică a materialului și să contribuie prin aceasta la propagarea fisurării încetinite pînă la apariția ruperii. Hidrogenul poate contribui și indirect la intensificarea fisurării încetinite, prin reducerea capacității de relaxare a tensiunilor în cusătura sudată.

6. Gradul de sudabilitate metalurgică a oțelurilor de înaltă rezistență poate fi apreciat direct după mărimea tensiunii limită inferioare, necesare pentru provocarea ruperii încetinite ($\sigma_i$).

Un oțel călibil va fi cu atît mai greu sudabil cu cît $\sigma_i$ va fi mai redus. Această valoare a lui $\sigma_i$ poate fi stabilită în principiu cu ajutorul unor epruvete nesudate, pregătite prin călire normală. Ea ne va da însă indicații numai din punct de vedere al comportării metalurgice a oțelului.

Pentru aprecierea sudabilității complexe a oțelului și din punct de vedere tehnologic, $\sigma_i$ trebuie stabilit pe epruvete sudate și înainte de toate este importantă definirea sensibilității oțelului la acțiunea hidrogenului ($\eta_H$) de intensificare a proceselor de fisurare.

Prin urmare, privită din punctul de vedere al sudabilității oțelurilor, sensibilitatea la fisurare încetinită trebuie privită ca o proprietate a materialului de bază, iar influența hidrogenului asupra fisurării ca o interacțiune dintre cuplul material de bază-material de adaos.

Din aceste considerente este indicat a stabili o clasificare a oțelurilor de înaltă rezistență după valoarea tensiunilor limită de rupere încetinită.

7. Pentru reducerea tendinței de fisurare a îmbinării sudate, provocată prin fenomenul ruperii încetinite, este necesar a se avea în vedere următoarele căi :

*a*) reducerea la minim a formării structurii martensitice cu grăunți mari în zona de transformare a îmbinării sudate, printr-o tehnologie de sudare corespunzătoare. Trebuie asigurată o grosime minimă a zonei de transformare pentru a reduce starea triaxială de tensiuni în zona de transformare și pentru a mări elasticitatea acestei zone ;

*b*) alegerea oțelului cu valoarea maximă a tensiunii limită inferioare ($c_i$) și sensibilitatea minimă la acțiunea hidrogenului ;

*c*) folosirea unor electrozi cu hidrogen redus și cu proprietăți plastice optime ;

*d*) realizarea cît mai corectă a îmbinării sudate din punct de vedere constructiv, pentru o ușoară rezolvare tehnologică a execuției, care permite reducerea la minim a tensiunilor de contracție provenite din sudare, care ar putea duce la depășirea tensiunii limită inferioare a ruperii încetinite ;

*e*) preîncălzirea piesei pentru sudare și aplicarea unei încălziri ulterioare pentru reducerea tendinței de fisurare încetinită ; temperatura la care se încălzește piesa trebuie să fie cu atît mai ridcată, cu cît tensiunea limită inferioară de rupere încetinită a materialului este mai scăzută și tensiunile de contracție datorită sudării mai ridicate.

8. În vederea dezvoltării unor oțeluri noi de înaltă rezistență, insensibile la fisurare încetinită, este necesară lămurirea în detaliu a fenomenelor de formare a germenilor de fisuri în cursul transformării martensitice.

## BIBLIOGRAFIE

1. J. Čabelka, C. Million (1965): *Studii și cercetări de metalurgie*, **10**, *2*, 323—331.
2. A. R. Troiano (1960): *Transaction of the ASM*, **52**, 54.
3. K. Mazanec (1961): *Hutnické Aktuality*, *18*.
4. H. Granjon (1961): *Soudage et techniques connexes*, **15**, *7/8*, 245.
5. L. Toman (1964): *Lomy v kovech, fraktografie*, VSVŠT, Bratislava.
6. P. Bastien (1959): *Soudage et techniques connexes*, **13**, *9/10*, 325.
7. T. Boniszewski, F. Watkinson, R. G. Baker, H. F. Tremlet (1965): *British Welding Journal*, **12**, *1*, 14.
8. T. Sălăgean (1963): *Fenomene fizice și metalurgice la sudarea cu arcul electric a oțelurilor*, Ed. Acad. R.P.R.
9. * * * (1963): Atomnîi mechanizm razrușenia (trad. engl.) Metalurgizdat.
10. H. Sekiguchi, T. Kobayashi (1957): *Soudage et techniques connexes*, **11**, *11/12*, 397.
11. A. H. Cotrrel (1962): *Zaklady fuziky kovov* (trad. engl.) SVTL, Bratislava.
12. G. L. Petrov, A. Million (1964): *Studii și cercetări de metalurgie* 9, 253—274 ; sau *Revue Roumaine des Sciences Techniques, Série de Métallurgie*" (1965), **10**, *1*, 127—150.

*Manuscris primit în august, 1966*

# DESPRE REZISTENȚA ÎMBINĂRILOR SUDATE CU DEFECTE

N. CONSTANTINESCU, A. MILLION

*Institutul de cercetări tehnologice pentru construcții de mașini, București*

În lucrare se analizează problema aprecierii influenței mărimii și repartiției defectelor asupra însușirilor mecanice ale îmbinărilor sudate și se propune o formulă care exprimă prin mijloace matematice legătura dintre imaginea radiografică și scăderea rezistenței sudurii. Se subliniază necesitatea efectuării unor încercări sistematice pentru stabilirea curbelor $\alpha(a/A)$, care să permită precizarea legăturii dintre rezistența reală a îmbinării și imaginea radiografică a acesteia. Se arată că defectele pot fi împărțite în grupe de defecte care au influență similară asupra proprietăților mecanice.

În calculul construcțiilor sudate este larg utilizat un coeficient subunitar care ține seama de presupusa „slăbire" a rezistenței îmbinărilor sudate. Această practică se bazează pe constatarea că nu rareori metalul îmbinărilor sudate prezintă proprietăți mecanice mai reduse decît materialul de bază nesudat sau chiar discontinuități și neomogenități categorisite în general prin noțiunea de „defecte".

În ultimii 15 ani în domeniul tehnicii sudării s-au obținut o serie de realizări, atît în privința materialelor de bază și a materialelor de adaos, cît și a tehnologiei de sudare propriu-zise, care au permis o mărire continuă a coeficientului subunitar sus amintit, la valori tot mai apropiate de unu.

Azi nu mai sînt rare construcțiile sudate la care în calcul îmbinarea sudată s-a considerat de egală rezistență cu materialul de bază. Această remarcabilă realizare a tehnicii sudării se extinde treptat de la oțelurile moi la oțelurile slab aliate și oțelurile de construcție de înaltă rezistență.

Se remarcă însă că o dată cu aceste progrese îndrăznețe a crescut în măsură considerabilă prudența proiectanților în ceea ce privește prescripțiile pentru acceptarea sudurilor cu defecte.

Din punct de vedere subiectiv această prudență este justificată dar adesea pretențiile proiectanților asupra omogenității materialului sudat sînt exagerat de mari și creează executanților dificultăți nebănuite. O astfel de practică, de bună seamă că scumpește inutil construcția, iar uneori duce chiar la înrăutățirea ei prin remedierile ce se fac după eliminarea defectelor

neesențiale din punct de vedere practic dar neadmise de norme, standarde sau caiete de sarcini.

Această stare de lucruri se datorește în ultimă analiză faptului că pînă în prezent nu există nici o normă care să dea cifre orientative măcar, asupra rezistenței reale a îmbinărilor sudate în funcție de mărimea și densitatea defectelor (nr. de defecte pe unitatea de arie) descoperite printr-o metodă oarecare de control nedistructiv. Astfel cel care proiectează sudurile cu aceleași cifre de rezistență ca și materialul de bază are în mod natural tendința de a calcula îmbinarea sudată ca lipsită de discontinuități și a obliga astfel practica să realizeze suduri „fără defecte".

Există însă și calea care pare a fi mai logică ; anume : să cunoaștem defectele care ar putea exista în cordoanele de sudură, să calculăm influența lor asupra proprietăților mecanice ale îmbinării și în funcție de această influență să stabilim natura, mărimea și densitatea defectelor ce le admitem în îmbinarea sudată.

Lucrări recent publicate, care se ocupă de scăderea proprietăților mecanice ale sudurilor, scădere provocată de anumite defecte, au permis autorilor să exprime cu mijloace matematice legătura dintre imaginea radiografică a unei suduri și scăderea rezistenței sale.

Trebuie să menționăm că cele expuse se referă numai la defectele ce pot fi puse în evidență prin radiografie, neluîndu-se în seamă microfisurile și nici macrofisurile.

Este un fapt bine cunoscut că microfisurile nu pot fi puse în evidență cu ajutorul tehnicii actuale a defectoscopiei cu raze penetrante și chiar macrofisurile sînt detectate numai în cazul cînd în mod întîmplător se alege favorabil direcția de radiografiere.

De asemenea, se consideră necesar a se reaminti faptul, azi deja bine cunoscut, că ruperea fragilă a îmbinărilor sudate este un fenomen complex, care are loc în egală măsură atît în suduri cu macrodefecte, cît și în suduri lipsite de defecte detectabile prin radiografiere.

De aceea, rezultatele expuse mai jos nu pot fi folosite cu scopul de a ne pune la adăpost față de fenomenele ruperii fragile.

In practica defectoscopică se uită deseori că calculul de rezistență se face numai pentru secțiunile periculoase, iar calculul de rezistență pentru suduri se face numai atunci cînd secțiunea periculoasă coincide cu planul de simetrie al sudurii.

Acest lucru este adevărat atît la suduri solicitate la tracțiune sau compresiune (*fig. 1, a*) cît și la cele solicitate la forfecare (*fig. 1, b*). Cazurile în care în calcule ar trebui să intre aria altei secțiuni nu prezintă importanță din punct de vedere al rezistenței îmbinării sudate, deoarece în aceste cazuri aria secțiunii cordonului este neglijabilă în raport cu aria secțiunii considerate (*fig. 1, c*). Intr-adevăr, în calcule se ia totdeauna aria A (*fig. 1, a* și *b*), ca fiind aria minimă a secțiunii cordonului de sudură pe întreaga sa lungime.

După cum se știe, dacă se supune la tracțiune o bară, mărind continuu forța, ea se va rupe acolo und aria secțiunii cu un plan transversal pe direcția de aplicare a forței este minimă, de unde reiese că :

$$\sigma_{id} = \frac{F_{id}}{A} \qquad (1)$$

unde, cu $\sigma_{id}$ respectiv $F_{id}$, s-au notat rezistența de rupere și respectiv forța de rupere care s-au numit convențional „ideale" și reprezintă mărimile măsurate în cazul cînd bara se consideră ca fiind practic fără defecte.

Dacă se presupune că bara conține un defect pe care experimentatorul nu l-a observat, bara se va rupe acolo unde secțiunea este minimă, de exemplu A—a ; unde a este aria maximă a secțiunii defectului cu un plan perpendicular pe direcția forței de tracțiune. În acest caz experimentatorul determină mărimea

$$\sigma_{ap} = \frac{F_d}{A} \qquad (2)$$

unde cu $F_d$ s-a notat forța sub care s-a rupt bara iar cu $\sigma_{ap}$ rezistența care bineînțeles că are sensul de rezistență aparentă.

Este important de remarcat, că formulele (1) și (2) sînt valabile nu numai în cazul solicitărilor statice ci se mențin și în cazul solicitărilor dinamice, atît cele la șoc, cît și cele la oboseală.

În cazul îmbinărilor sudate, pentru evaluarea influenței defectelor asupra rezistenței la solicitări statice și dinamice, este important să se stabilească legătura dintre $\sigma_{id}$ și $\sigma_{ap}$.

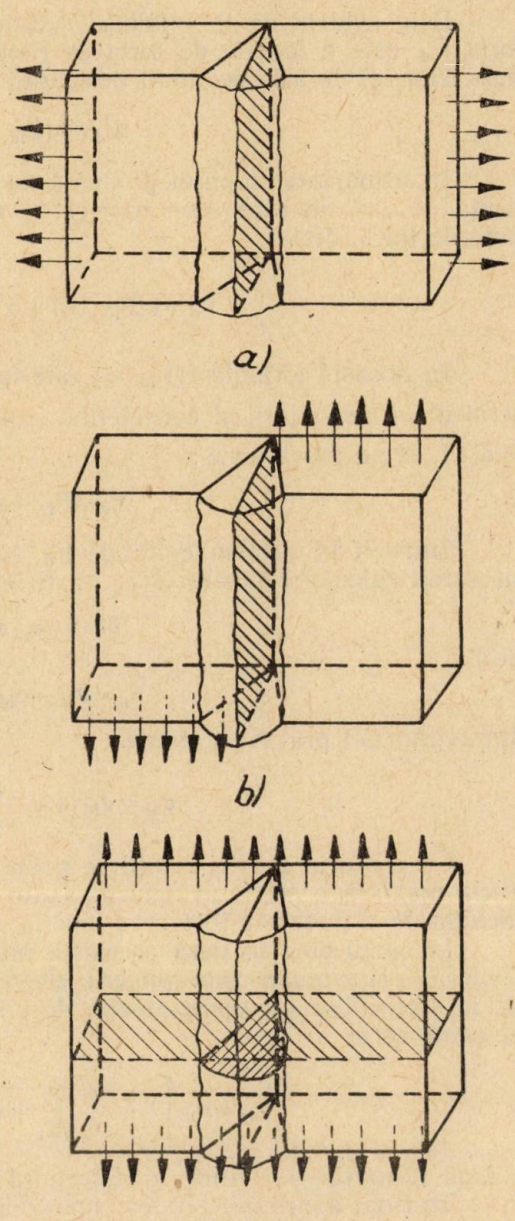



*Fig. 1.* Secțiunile periculoase ale epruvetelor sudate în diferite variante de solicitare.

Este evident că la îmbinări sudate, ca și în cazul barei cu defecte, forța $F_d$ este o funcție de forța de rupere $F_{id}$ măsurată în cazul absenței defectelor, și de aria secțiunii defectului notată cu „a", deci

$$F_d = f(F_{id}, a) \tag{3}$$

În urmărirea scopului propus e necesar să se analizeze numai dependența de „a", în care scop funcția de mai sus se dezvoltă în serie după puterile lui a, deci :

$$F_d = f(F_{id}, 0) + a\frac{\partial f}{\partial a}\Big|_{a=0} + \dots \tag{4}$$

În această formulă $f(F_{id}, o)$ este tocmai $F_{id}$; oprindu-ne la primii doi termeni ai dezvoltării și considerînd expresia $\frac{\partial f}{\partial a}\Big|_{a=0}$ ca o funcție de forma $-\delta(a)$, se va putea scrie :

$$F_d = F_{id} - a\delta(a) \tag{5}$$

Întrucît în această egalitate $F_d$ și $F_{id}$ au aceleași dimensiuni, pentru ușurarea calculelor funcția $\delta(a)$ va fi luată de forma :

$$\delta(a) = \sigma_{id}\,\alpha(a) \tag{6}$$

deci :

$$F_d = F_{id} - \sigma_{id}\, a\, \alpha(a) \tag{7}$$

Împărțind (7) prin A se obține :

$$\sigma_{ap} = \sigma_{id}\left[1 - \frac{a}{A}\alpha(a)\right]. \tag{8}$$

Cu ajutorul acestei relații se poate exprima $\sigma_{ap}$ dacă se cunoaște „a" (aria maximă a secțiunii defectului din bară cu un plan perpendicular pe direcția de acționare a forței) și funcția $\alpha(a)$.

In cazul cînd în bară ar exista mai multe defecte de natură diferită, conform principiului suprapunerii efectelor, acestea ar trebui descrise cu ariile secțiunilor corespunzătoare, deci în formă generalizată formula (8) se poate scrie

$$\sigma_{ap} = \sigma_{id}\left[1 - \frac{1}{A}\sum_{i=1}^{n} a_i\alpha_i(a_1, a_2, \dots, a_n)\right] \tag{9}$$

i fiind numărul de ordine al defectului iar n numărul total al defectelor.

În final apare necesitatea cunoașterii raportului :

$$\frac{\sigma_{ap}}{\sigma_{id}} = 1 - \frac{1}{A}\sum a_i\alpha_i(a_1, a_2, \dots, a_n) \tag{10}$$

Luînd în considerație că $\sigma_{ap}$ poate să ia valori cuprinse între $\sigma_{id}$ și 0, că $a_i$ poate să varieze între 0 și A iar $\sigma_{id}$ nu este nici odată nul, rezultă că raportul $\frac{\sigma_{ap}}{\sigma_{id}}$ este o funcție mărginită avînd ca margine superioară pe 1 iar ca margine inferioară pe 0. În consecință însăși funcțiile $\alpha_i(a_1 \ldots a_n)$ sînt funcții mărginite.

Este interesant a se semnala că formula (10) este în concordanță cu formulele de determinare a tensiunilor maxime din apropierea concentratorilor de tensiune, determinate pe diferite căi de diverși cercetători, formule care în majoritatea cazurilor au fost confirmate de exeprință [1], [2].

Această constatare poate avea o însemnătate deosebită în interpretarea fenomenului de rupere a materialelor cu discontinuități macroscopice, deoarece formula (10) s-a stabilit fără a se face apel la teoria elasticității, a plasticității sau vre-o altă teorie dintre cele folosite de rezistența materialelor sau în studiul metalelor.

Întrucît tensiunile maxime din jurul concentratorilor rămîn întotdeauna sub limita de curgere a materialului respectiv, conform constatării de mai sus, se poate conclude, că fenomenul de rupere al materialelor cu discontinuități macroscopice, care alcătuiesc concentratori de tensiune, este guvernat de legile formării tensiunilor maxime atinse în domeniul elastic și nu de valoarea absolută a limitei de curgere.

În cazul îmbinărilor sudate, unde forma, mărimea și natura discontinuităților sînt foarte variate și de regulă nu se pot determina cu exactitate, condițiile teoretice existente nu sînt suficiente pentru determinarea funcțiilor $\alpha_i$ din formula (10) și prin urmare va trebui să se facă apel la datele furnizate de experiență.

Din păcate aceste date sînt încă la ora actuală foarte puține la număr.

Situația arătată se datorește faptului că experiențele în acest domeniu sînt costisitoare și laborioase întrucît domeniul de împrăștiere al măsurătorilor este mare iar legile ce se urmăresc cu ajutorul lor au caracter statistic.

Din literatura de specialitate reiese că pînă în prezent nu s-a pus problema obținerii unei formule matematice pentru evaluarea influenței defectelor asupra rezistenței îmbinărilor sudate, însă s-au făcut încercări statice și de oboseală asupra unor epruvete de oțel moale sudate cu și fără defecte. Deși aceste experiențe sînt relativ puține la număr, se poate face o primă încercare de a folosi rezultatele obținute pentru determinarea funcțiilor $\alpha$ din formula (10).

Una din cele mai vaste lucrări în acest domeniu a fost publicată de cercetătorul sovietic Perlis de la Institutul de Poduri din Leningrad [3]. Acest cercetător a supus la încercări de tracțiune statică și de oboseală mai multe serii de epruvete sudate din oțel moale, cordonul de sudură avînd defecte obișnuite (pori, incluziuni de zgură, nepătrunderi sau crestături de ardere). Aceste date experimentale sînt rezumate în tabelele 1 și 2.

*Tabela 1*

**Rezultatele obținute prin încercări statice la tracțiune**

| Nr. crt. | Caracteristica seriei de epruvete | Temp. de încercare °C | $\tau_c$ kgf/mm² | $\tau_r$ kgf/mm² | Alung. relativă % | Strictiunea relativă % | Caracterul și locul ruperii |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Fără defecte | 45 | 34,1 | 45,6 | 24,6 | 55,9 | |
| 2 | Crestături cu adîncimi de 0,5 mm | 43 | 34,1 | 43,8 | 24,3 | 56,5 | |
| 3 | Idem 1 mm | 45 | 34,7 | 45,4 | 25,1 | 57 4 | |
| 4 | Idem 1,5 mm | 47 | 35,1 | 45,6 | 26,6 | 57,5 | în mat. de bază |
| 5 | Crestături de ardere cu adîncimi de 0,5 mn | 47 | 37,1 | 46,7 | 24,6 | 55,4 | |
| 6 | idem 1 mm | 44 | 34,8 | 46,3 | 24,6 | 57,0 | |
| 7 | idem 1,5 mm | 44 | 33,6 | 45,3 | 25,0 | 55,0 | |
| 8 | Nepătrunderi cu adîncimi 1 mm | 44 | 32,6 | 44,6 | 26,0 | 56,6 | |
| 9 | Nepătrunderi cu adîncimi 2 mm | 44 | 36,6 | 44,1 | 26,0 | 53,2 | |

*Tabela 2*

**Rezultatele obținute prin încercări de oboseală la tracțiune**

| Nr. crt. | Caracteristica seriei | $\sigma$ 0,1 kgf/mm² | | $\beta_{-1}$ | $\beta_{-1k}$ | $\frac{a}{A}$ | $\alpha_i$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Bruto | Neto | | | | |
| 1 | Etalon | 20 | 20 | 1 | 1 | 0 | — |
| 2 | Incluziuni zgură | 15,6 | 17,5 | 1,28 | 1,14 | 0,110 | 2 |
| 3 | Pori singulari | 18,0 | 18,4 | 1,11 | 1,09 | 0,020 | 5,0 |
| 4 | Lanț de pori | 17,5 | 18 | 1,14 | 1,11 | 0,025 | 5 |
| 5 | Nepătrunderi parțiale | 14,0 | 14,5 | 1,43 | 1,38 | 0,040 | 7,5 |
| 6 | Nepătrunderi | 10,7 | 11,8 | 1,87 | 1,70 | 0,090 | 5,1 |
| 7 | Fisuri | 10,2 | 13,2 | 1,96 | 1,52 | 0,225 | 2,1 |

Se vede din tabela 1 că rezistența de rupere a epruvetelor cu defecte nu variază atît de mult încît să depășească împrăștierea statistică caracteristică încercărilor de tracțiune statică. Deci funcțiile $\alpha$, cu aproximație suficientă pentru practică, pot fi luate egale cu 1.

In ce privește încercările de oboseală, în tabela 2 au fost introduse și valorile raportului $\frac{a}{A}$ calculate din definiția coeficientului de încrestare cu $\beta_{-1}$ și $\beta_{-1k}$ care conduce la formula :

$$\frac{a}{A} = 1 - \frac{\beta_{-1k}}{\beta_{-1}} \qquad (11)$$

Cu ajutorul acestor date s-au calculat valorile lui $\alpha$ cu care a fost completată tabela 2.

Din datele din tabela 2 s-au construit curbele din *figura 2*. Se observă că valorile lui $\alpha_1$ pentru pori și pentru incluziuni de zgură se distribuie după aceeași curbă, deci aceste două tipuri de defecte pot fi caracterizate cu o singură funcție $\alpha_1$.

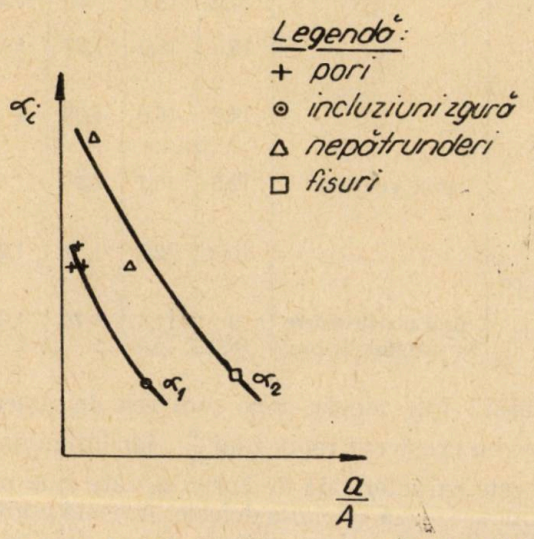



*Fig. 2.* Curbele funcțiilor $\alpha_1$ și $\alpha_2$ pentru solicitare alternativă la tracțiune.

Similar se constată aceeași situație pentru nepătrunderi și fisuri pentru care se adoptă notația $\alpha_2$.

Relativ la încercările de oboseală la încovoiere rezultatele experimentale sînt expuse în tabela 3 în care s-au introdus de asemenea valorile calculate ale raportului $\frac{a}{A}$ și ale lui $\alpha_1$.

Cu ajutorul acestor date s-a construit curba din *figura 3*.

Din *figura 3* reiese că valorile funcțiilor $\alpha_1$ pentru pori nu prezintă nici o regularitate în timp ce crestăturile de ardere și nepătrunderile pot fi caracterizate cu o singură funcție $\alpha_3$.

*Tabela 3*

**Rezultatele obținute prin încercările de oboseală la încovoiere**

| Nr. crt. | Caracteristica seriei | Locul ruperii | $\sigma_{-1}$ kgf/mm² brută | $\sigma_{-1}$ kgf/mm² netă | $\beta_{-1}$ | $\beta_{-1k}$ | $\frac{a}{A}$ | $\alpha_i$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Cordon fără defecte | În metalul de bază | 16 | 16 | 1 | 1 | — | — |
| 2 | Un por Ø 0,5 mm | „ | 16,2 | 16,2 | 1 | 1 | — | — |
| 3 | Trei pori Ø 1,5 mm | Prin pori | 14,5 | 15,8 | 1,10 | 1,02 | 0,075 | 1,25 |
| 4 | Cinci pori Ø 1,5 mm | „ | 13,0 | 15,2 | 1,23 | 1,05 | 0,150 | 1,23 |
| 5 | Opt pori Ø 1,5 mm | „ | 10,0 | 13,1 | 1,60 | 1,22 | 0,240 | 1,58 |
| 6 | Trei pori Ø 2,5 mm | „ | 15,0 | 16,0 | 1,07 | 1 | 0,065 | 1,00 |
| 7 | Trei pori Ø 1,5 mm apropiați | „ | 14,7 | 16,0 | 1,09 | 1 | 0,075 | 1,00 |
| 8 | Crestătură cu adîncime de 0,5 mm | prin crestături | 12,5 | 13,7 | 1,26 | 1,17 | 0,085 | 2,55 |
| 9 | Crestătură cu adîncime de 1 mm | „ | 10,5 | 12,5 | 1,52 | 1,28 | 0,160 | 2,20 |
| 10 | Nepătrundere cu adîncime de 1—1,5 mm | prin nepătrundere | 9 | 11,5 | 1,78 | 1,39 | 0,220 | 2,00 |
| 11 | Etalon | în metalul de bază | 16,0 | 16,0 | 1 | 1 | — | — |

Rezultatele arată într-adevăr, așa cum era de așteptat, că valorile funcțiilor $\alpha_i$ descresc cu creșterea raportului $\frac{a}{A}$, iar influența incluziunilor de zgură și a porilor este caracterizată de curba $\alpha_1$ care este plasată totdeauna sub curba $\alpha_2$, ce caracterizează celelalte defecte. Această constatare cu privire la gradul diferit de influență a defectelor de natură diferită, este în concordanță cu experiența practică ; fisurile, nepătrunderile și crestăturile de ardere sînt defecte care afectează determinant rezistența la oboseală, pe cînd porii și incluziunile de zgură o influențează mai puțin.

În stadiul actual dispunem de puține date care ar putea servi la verificarea veridicității ipotezelor pe baza cărora s-a dedus formula (10).

Astfel Newman și Dawes, efectuînd încercări de oboseală la tracțiune, asupra unor îmbinări sudate cap la cap, pe table de 12,7 mm grosime, cu pregătirea marginilor în X, au găsit că rezistența la oboseală este puternic influențată de defectul «nepătrundere la rădăcină» [4].

Rezultatele obținute ar putea servi la deducerea curbei $\alpha$ pentru cazul nepătrunderilor de genul amintit ; deoarece experiențele au dovedit că reducerea rezistenței la oboseală poate fi exprimată ca o funcție care depinde

numai de reducerea ariei secțiunii de către defect, mărime exprimată în formula (10) prin raportul $\frac{a}{A}$.

Din cele discutate rezultă că prin efectuarea sistematică de încercări, pe baza unui program unitar, în scopul precizării curbelor $\alpha\left(\frac{a}{A}\right)$ pentru diferite tipuri de defecte, oțeluri etc., se poate elabora un sistem rațional de

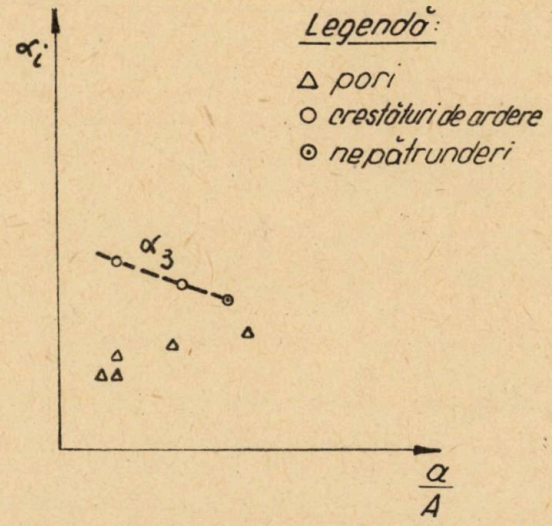



*Fig. 3.* Curba $\alpha_3$ pentru solicitare alternativă la încovoiere.

apreciere a îmbinărilor sudate, care leagă rezistența lor reală cu parametrii de calcul prin intermediul imaginii radiografice.

BIBLIOGRAFIE

1. G. N. Savin (1951): *Konțentrația napriajenii okolo otverstii,* Moscova, Leningrad.
2. S. Timoshenko (1954): *Résistance des matériaux,* Paris.
3. I. A. Perlis (1958): Vlianie tehnologhiceskih defectov v stîkovîh șvah na procinost soedinenia. *Metodî kontrolia Kacestva svarnîh șvov i konstrukții,* Leningrad, 20—31.
4. R. P. Newmann, M. G. Dawes (1965): Exploratory Fatique Tests on Tranverse Butt Welds Containing Lack of Penetration. *British Welding Journal,* martie, 117—120.
5. J. W. Bradley, R. B. McCauley (1964): The Effect of Porosity in Quenched and Tempered Steel. *The welding Journal,* septembrie, 408—414.
6. Sin Iokoi (1963): Influența defectelor observate cu ajutorul radiografiilor asupra rezistenței la oboseală a sudurilor cap la cap (în limba japoneză). *Rept. Nat. Res. Inst. Metals,* 3, 226—234.
7. G. Franz (1964): Einfluss von Fertigungsfehlern auf die Tragfähigkeit von geschweissten Verbindungen. *Schweisstechnik,* (D.D.R.), 2, 58—60.

*Manuscris primit în mai, 1966*

# ASPECTE ALE CERCETĂRII ȘTIINȚIFICE ROMÂNEȘTI ÎN DOMENIUL SUDURII

TR. SĂLĂGEAN
*Centrul de cercetări tehnice din Timișoara al Academiei R. S. România*

1. Sudarea metalelor își găsește primele aplicații practice la repararea defectelor de turnare a pieselor și la încărcarea pieselor uzate în exploatare. Aceste începuturi se situează în ultima decadă a secolului al XIX-lea. Treptat sudarea se folosește și la îmbinarea pieselor metalice în construcții din ce în ce mai complexe, datorită avantajelor tehnice și economice față de celelalte metode de îmbinare. Actualmente sudarea s-a extins în toate domeniile tehnice, făcînd parte integrantă din progresul rapid al construcțiilor de toate tipurile și destinațiile. Azi nu s-ar putea concepe dezvoltarea tehnicii nucleare fără sudare, fiindcă numai cu ajutorul ei se pot construi cămeșile din oțel ale reactoarelor cu grosimi de ordinul metrilor, respectiv se pot îmbina elementele foarte fine din metale active ale instalațiilor pentru dirijarea proceselor nucleare. De asemenea cucerirea spațiului cosmic este tributară sudurii și tehnicilor conexe, fiindcă numai prin sudare se pot realiza cabine ușoare și etanșe, iar prin acoperire termică se asigură straturile de protecție ale navelor cosmice.

Acest drum lung, parcurs în mai puțin de *70* de ani de către sudură, se datorește intensei activități umane de cercetare științifică desfășurată concomitent cu aplicațiile tot mai importante cerute de practică. Tot în acest timp sudorii au trebuit să rezolve și problemele legate de apariția oțelurilor aliate, a aliajelor neferoase, a metalelor active și a maselor plastice. Succesele de prestigiu și lecțiile severe date de unele grave accidente ale construcțiilor sudate, au fost etape pe care cercetătorii și tehnicienii le-au parcurs cu tenacitate și voință.

În România, sudura a parcurs un drum asemănător. La începutul secolului nostru și mai ales după primul război mondial, apar ateliere de sudură a căror destinație era oglindită în reclama : „Înainte de a arunca o piesă consultați-ne", adică se punea accentul mai ales pe lucrări de reparații. Pe lîngă acestea, în întreprinderi mai mari ca de ex. la Uzinele și domeniile Reșița (*UDR*), la atelierele căilor ferate și la tramvaiele din Timișoara și București, se dezvoltă preocupări tehnice de sudură. Astfel, la fabrica de mașini electrice din Reșița se începe fabricarea carcaselor mașinilor

prin sudare și se realizează două poduri de șosea în întregime sudate. Creșterea consumului de electrozi de sudură determină înființarea unei fabrici de electrozi la Cîmpia Turzii.

Un loc deosebit în istoricul sudurii din România antebelică îl ocupă „Cercul pentru încurajarea sudurii" înființat la Timișoara din inițiativa dr. ing. Corneliu Mikloși. În cadrul acestui cerc s-au întreprins cercetări științifice importante, s-a editat prima carte românească de sudură [1], s-a elaborat o terminologie [2], s-a publicat, timp de *8* ani, o revistă numită „Sudura", cu *4* numere pe an. Tot aici s-au ținut cursuri de calificare a sudorilor după un program judicios stabilit, editîndu-se și manualele necesare. În cadrul acestui cerc au activat oameni cu înaltă calificare și s-au format specialiști utili țării și astăzi.

După cel de-al doilea război mondial, dezvoltarea socialistă a României a determinat și un salt calitativ în domeniul sudurii. Trecerea construcției de nave de la varianta nituită la cea sudată, fenomen petrecut și în construcția de cazane și recipienți, în construcția de mașini și în construcțiile industriale și civile, dezvoltarea amplă a producției de oțeluri și laminate din oțel, a producției de aluminiu, de cupru și a laminatelor din aceste metale, au impus sudurii probleme complexe care trebuiau rezolvate în ritm rapid.

Pentru asemenea cerințe, formarea cadrelor de toate nivelele, concomitent cu crearea unei baze materiale proprii, au fost și sînt sarcini acute. Pe lîngă marile uzine se înființează școli de calificare a sudorilor, iar la Institutul politehnic Timișoara se creează în *1952* o Catedră de sudură, destinată să formeze cadrele de ingineri sudori. La Baza Academiei din Timișoara ia ființă în 1954 o Secție de sudură pentru a promova cercetări științifice. Atît conducerea Catedrei cît și a Secției de sudură este încredințată academicianului Corneliu Mikloși (1887—1963) eminent om de știință, care și-a pus întreaga sa capacitate și îndelungata experiență în scopul rezolvării sarcinilor primite. Fabrica de electrozi de la Cîmpia Turzii este reutilată și mărită, creîndu-se și un laborator de cercetare în domeniul materialelor de sudare. La Reșița și la București se dezvoltă construcția de mașini electrice de sudură și, mai tîrziu, în cadrul Institutului de cercetări pentru tehnologia construcției de mașini (*ICTCM*) se înființează un atelier de sudură.

În vederea asigurării unei dezvoltări armonioase a acestei activități, a confruntării realizărilor obținute și a elaborării temelor de perspectivă, Baza Academiei și Institutul politehnic din Timișoara inițiază consfătuirile de sudură și încercări de metale, care s-au ținut la Timișoara cu o periodicitate de *3* ani și anume în *1955, 1956, 1959, 1962* și *1965*. La fiecare din aceste consfătuiri lucrările comunicate au fost publicate în broșuri în care se oglindește, în esență, tot ceea ce s-a realizat științific și tehnic în domeniul sudurii.

În *1957*, țara noastră aderă la Institutul Internațional de Sudură (*IIS*), Centrul de cercetări tehnice din Timișoara a Academiei (*CCT*) primind sarcina de a reprezenta România la acest institut.

În scopul polarizării activității de cercetare în domeniul sudurii și tehnicilor conexe, în *1964* ia ființă Comisia de sudură a Academiei, în cadrul căreia fiecare minister interesat își are delegați.

În stadiul actual al procesului de industrializare a țării, cadrelor de sudori din Republica Socialistă România le revin sarcini complexe și de mare răspundere. De aceea, în fața lor se pun probleme actuale și de perspectivă concretizate prin :

— dezvoltarea bazei de materiale și utilaje de sudare la nivelul tehnic cel mai modern,

— creșterea cadrelor de specialiști sudori de toate nivelele,

— dezvoltarea cercetării științifice și tehnice în domeniul sudurii prin creșterea bazelor de cercetare actuale și prin lărgirea laboratoarelor uzinale existente cu secții și sectoare de sudură,

— asigurarea ținerii consfătuirilor de sudură și încercări de metale cu periodicitatea necesară,

— înființarea unei reviste de sudură.

În cele ce urmează se va face o trecere în revistă a activității de cercetare științifică și a realizărilor tehnice de seamă în domeniul sudurii și tehnicilor conexe, pe baza materialelor consfătuirilor de sudură și încercări de metale. De asemenea, în măsura posibilă, s-au luat în considerare materialele publicate în alte reviste, sau sub formă de cărți. Prezentarea s-a făcut pe mai multe secțiuni, iar la sfîrșit s-a alcătuit o bibliografie pe care colectivul de autori a dorit-o cît mai completă.

2. *Comportarea la sudare a metalelor și aliajelor metalice* constituie o preocupare cu frumoase realizări, mai ales în ceea ce privește oțelurile. Într-o serie de lucrări [3], [7], [8], [4], academicianul C. Mikloși sintetizează cunoștințele actuale privind sudabilitatea oțelurilor, analizînd influența factorilor referitori mai ales la sudabilitatea metalurgică. Se recomandă să se facă un studiu sistematic pornind de la oțelurile nealiate pe baza unor metode care să reproducă cu fidelitate fenomenele reale.

Alții [5], [6], luînd în considerare lucrările *IIS*-ului și cele mai recente norme internaționale, propun o acțiune de confruntare a tuturor datelor apărute în literatură, pentru a se întocmi norme unice de alegere a oțelurilor destinate construcțiilor sudate. Se recomandă de asemenea o serie de metode utilizabile la cercetarea sudabilității.

Într-o serie de întreprinderi, cum ar fi cele din Reșița, uzinele „Semănătoarea" din București, „Electroputere" din Craiova și altele, s-au întreprins încercări sistematice de sudabilitate, cu ocazia realizării unor construcții sudate importante. Lucrările publicate [9], [17], [10], [12], [16], [11], [13], [14], [15] prezintă încercările făcute și valorile obținute. Asemenea date sînt foarte interesante, fiindcă se referă la oțeluri indigene și dau o imagine a comportării acestora la sudare. Se remarcă, în mod special, rezultatele privind aplicarea încercării de sudabilitate Čabelka la o serie de

oțeluri românești, care intră în ansamblele sudate ale locomotivei diesel-electrice.

În domeniul oțelurilor slab aliate cu rezistență mare și a oțelurilor aliate, s-au elaborat de asemenea unele lucrări valoroase atît prin metodologia urmată, [27] cît și mai ales prin datele experimentale furnizate. Astfel, în domeniul oțelurilor slab aliate cu mangan și molibden sînt lucrările elaborate de specialiștii uzinei „1 Mai" din Ploiești [21], [22], [26], ai șantierelor navale din Galați și Turnu-Severin [20], [23] și ai altor uzine [19], [25], [24]. O lucrare interesantă tratează comportarea la sudare a oțelurilor pentru poduri [28]. În fine, se menționează lucrarea [18] efectuată la Centrul de cercetări tehnice din Timișoara a Academiei R. S. România, privind sudabilitatea oțelurilor slab aliate cu mangan de tipul *OLX52*, numit acum *17M13*.

3. *Tehnologia sudării* constituie o preocupare vastă a cercetătorilor și specialiștilor din unitățile productive, cu scopul de a introduce cu rezultatele cele mai bune procedeele moderne de sudare. În domeniul tehnologiei sudării automate sub flux s-au elaborat lucrări privind sudarea vagoanelor cisternă autoportante [29] și altor tipuri de vagoane [30], sudarea recipienților, rezervoarelor și cazanelor [21], [22], [31], [32], [33], [34], [10], [35], privind fabricarea prin sudare a țevilor [36] și electronituirea automată sub flux [37].

Tehnologia sudării în baie de zgură constituie obiectul unor lucrări prezentînd aplicațiuni [38], [31] și îmbunătățiri aduse procedeului [39]. Într-o lucrare [40] se relevă posibilitatea finisării structurii cristaline a cusăturii prin iradierea băii de sudură cu ultrasunete. În fine, lucările [41], [42] se referă la rafinarea oțelurilor în baie de zgură, arătînd îmbunătățirile realizate pe această cale.

Tehnologia sudării în mediu de gaz protector este studiată în mai multe lucrări, unele referindu-se la sudarea în mediu de $CO_2$ [43], [44], [45], [46], [47], [48], iar altele la sudarea în mediu de argon a cuprului și aluminiului [49], [50]. De asemenea găsim cercetări privind electronituirea în mediu de argon cu electrod fuzibil și nefuzibil [51], [52].

Încărcarea pieselor prin sudare fie cu scopul recondiționării lor, fie cu scopul aplicării unor straturi cu însușiri speciale, este tratată în linii generale în lucrarea [53]. Într-o serie de lucrări sînt arătate aplicații ale încărcării manuale cu electrozi înveliți [54], [55], [56], ale încărcării cu arc vibrator [57], [58] ale încărcării automate sub flux a bandajelor vehiculelor de cale [59], [60], [61] și a cilindrilor de laminor [63]. Foarte interesantă este o lucrare care tratează încărcarea prin sudare sub flux folosind un electrod sub formă de bandă [62], pentru că deschide perspectiva unor aplicații deosebite la acoperirea suprafețelor mari. În fine, este interesantă încărcarea prin sudare cu cupru a butucilor de la hidroagregate, a cărei tehnologie este prezentată în lucrarea [64].

Cercetări privind tehnologia sudării oțelurilor cu carbon [11], a unor oțeluri slab aliate [25], [26], [65] și a unor oțeluri termorezistente [66],

[67] găsesc tratări generale în lucrările menționate. În lucrările [68], [69] se prezintă tehnologia sudării cu arcul electric, în cochilie, a unor oțeluri pentru bare de armarea betonului.

O serie de lucrări se referă la repararea unor piese importante cum ar fi: cilindrii de locomotivă [70], rotoare ale turbinelor cu aburi [71], arbori cotiți [72], blocul unui motor diesel [73], arbore de pompe [74], piese din fontă [75], arcuri de la vagoane de cale ferată [24], valțuri de laminor și scule rupte din oțeluri rapide [76], [77]. Aceste lucrări sînt interesante prin faptul că se referă la cazuri concrete, dintre care unele intervin destul de des în practică.

Dispozitivele folosite în procesele tehnologice de sudare sînt tratate în relativ puține lucrări și anume: în domeniul construcțiilor de mașini găsim o singură lucrare [78], în domeniul construcției locomotivei diesel-electrice lucrările [79], [81], [82] și în construcții navale două: [80] și [83]. Această situație nu oglindește frumoasele realizări obținute în o serie de întreprinderi din țară.

În domeniul tehnologiei sudării și procedeelor conexe mai sînt multe publicații interesante, dintre care citâm: lipirea plăcuțelor de argint pe contacte de cupru [84], [85], sudarea cu energie înmagazinată a sîrmelor din cupru și aluminiu [86] și a tablelor subțiri [87], sudarea maselor plastice [88], [89], tehnologia sudării navelor [20], sudarea conductelor forțate [9], fabricarea prin sudare a unor turbosuflante [90], sudarea conductelor magistrale [14], sudarea barelor din aluminiu cu secțiuni mari [91] și altele.

În domeniul metalurgiei și tehnologiei sudării se mai evidențiază o serie de cărți și manuale, care sintetizează cunoștințe actuale și utile sudorilor cu diferite nivele de pregătire [246], [247], [248], [249], [250].

4. *Sudarea prin presiune,* deși aplicată deocamdată mai puțin decît sudarea cu arcul electric, constituie un domeniu în care s-au obținut realizări importante. Cercetările efectuate au avut drept scop principal studiul influenței parametrilor procesului de sudare asupra însușirilor sudurilor, referindu-se mai ales la procedeele de sudare în capete și prin puncte.

În ceea ce privește sudarea în capete prin topire intermediară, cercetările s-au concretizat în aplicarea acestui procedeu la sudarea șinelor de cale ferată, în vederea introducerii la noi în țară a căii ferate continue cu șine sudate (la ora actuală există peste 1 600 km cale ferată sudată) și la sudarea barelor de oțel pentru armarea betonului.

Lucrările de cercetare privind sudarea șinelor de cale ferată au avut ca obiect pe lîngă studiul oportunității aplicării procedeului, determinarea parametrilor optimi de sudare în funcție de tipul și materialul șinelor [92], [93], [94], [95], [96], [97], studiul influenței forței de refulare asupra calității îmbinărilor [98], studiul posibilităților de sudare a șinelor cu conținut ridicat în carbon [99], [100], [101], găsirea unei soluții imediate pentru sudarea șinelor care păstrează găurile cu care au fost eclisate [102].

Au existat de asemenea preocupări privind determinarea rezistenței la oboseală a șinelor sudate și compararea rezultatelor obținute cu cele existente în alte țări [103]. Ansamblul lucrărilor de cercetare efectuate între anii 1963—1966 este cuprins într-o lucrare de sinteză [104]. Simultan cu cercetările privind sudarea șinelor s-au făcut și studii privind teoria căii ferate continue cu șine sudate [105] și tratarea capătului căii fără joante [106]. În vederea realizării practice a căii ferate sudate, s-au făcut studii privind organizarea șantierelor de sudare respectiv de înlocuire a șinelor nesudate, cu legături prin eclise, cu cele sudate, cu aplicarea imediată a rezultatelor obținute [107], [108].

În ceea ce privește sudarea barelor pentru armarea betonului s-au efectuat cercetări privind influența concentrației sursei termice asupra proprietăților fizico-mecanice ale îmbinărilor sudate, rezultatele cercetărilor concretizîndu-se în aplicarea sudării prin topire intermediară la o serie de calități de asemenea bare, pe șantierele de construcții [109], [110], [111].

Se mai pot menționa în cadrul acestui capitol cercetările efectuate privind sudarea electrică prin presiune a unor bare din fontă cenușie [112] și cercetările privind sudarea prin presiune cu gaze (flacără oxiacetilenică) a țevilor respectiv conductelor pentru petrol și gaze [113], [114].

Pentru determinarea distribuției în timp și spațiu a temperaturii pieselor care se sudează prin presiune, în capete, s-a cercetat cîmpul termic la sudare în acest caz. Cercetările s-au concretizat prin prezentarea unor diagrame pentru calculul practic al temperaturii în orice punct al pieselor [115].

În ceea ce privește sudarea prin puncte, cercetările care s-au efectuat s-au ocupat mai ales cu fenomenele care au loc la sudarea cu energie înmagazinată în cîmp electrostatic [116], [117], [118], [87]. Cercetările s-au concretizat prin aplicarea acestui procedeu la sudarea sîrmelor de cupru și aluminiu [86] și la sudarea electrodului lateral la bujiile de automobil [119].

De asemenea s-au făcut cercetări privind posibilitatea reglării curentului la sudarea prin puncte, propunîndu-se în acest sens un dispozitiv de comandă [120].

La saboții de autocamion a fost studiată și aplicată sudarea prin puncte în relief [121].

Tot în cadrul acestui capitol menționăm și cercetările efectuate în domeniul sudării la rece, care au condus la conceperea și realizarea unor dispozitive de sudare în capete a sîrmelor de cupru și aluminiu, respectiv la stabilirea unor regimuri de lucru corespunzătoare [122], [123], [124].

Cercetările efectuate la noi în țară în domeniul sudării prin presiune sînt parțial reflectate și în cărțile de specialitate editate la noi în țară [125], [126], respectiv în unele referate de sinteză [127].

5. *Utilaje pentru sudare.* Cercetările și realizările în acest domeniu sînt bogate. Ele se axează pe mai multe direcții, după procedeul la care este folosit respectivul utilaj.

Cercetările privind sursele de curent pentru sudarea cu arcul electric au cuprins astfel: studii generale asupra caracteristicilor acestor surse și stadiului de dezvoltare al lor la noi în țară [128], [129], [130], [131], [132], [133]; cercetări privind îmbunătățirea caracteristicilor de funcționare ale unor tipuri de transformatoare de sudură și conceperea și realizarea unor transformatoare de sudură la noi în țară [134], [135], [136], [137]; cercetări privind aptitudinea la sudare a generatoarelor de curent continuu [138], [139]; cercetări privind aprecierea comportării dinamice a transformatoarelor de sudură, cu luarea în considerare a criteriilor propuse în cadrul Comisiei II B a Institutului Internațional de Sudură (IIS) și anume: stabilirea unor factori care influențează comportarea dinamică a transformatoarelor de sudură, determinarea unei relații între criteriile propuse de IIS, propunerea unei metode experimentale de calcul a unuia din cele două criterii [140], [141], [142], [143], [144], [145], [146].

Au mai existat preocupări și privind adaptarea unor transformatoare de sudură pentru generarea energiei termice necesare tratamentului termic al sudurilor [147].

În ceea ce privește utilajele pentru sudarea electrică prin presiune, s-au efectuat cercetări privind realizarea unor instalații pentru sudarea prin topire intermediară a secțiunilor mari, concretizate prin conceperea de către Ministerul Căilor Ferate respectiv Întreprinderea de transporturi București a unor instalații de sudat șine de cale ferată și de tramvai [94], [148], [149]. Legat de aceste instalații s-au efectuat cercetări privind completarea lor cu sisteme de control ale preîncălzirii și topirii [150], [151], [152]. S-a studiat de asemenea problema alimentării în joasă frecvență a mașinilor de sudat prin presiune destinate sudării în capete a pieselor de secțiune mare [153].

Sursele de sudură de curent alternativ fiind în marea lor majoritate monofazate, au ridicat problema găsirii unor soluții de simetrizare a încărcării rețelei trifazate. Cercetările efectuate în această direcție au condus la realizarea unor generatoare de sudură de curent alternativ care convertesc printr-o singură mașină rotitoare curentul trifazat în curent monofazat [154], [155], [156], respectiv la găsirea unor soluții de repartizare uniformă pe cele trei faze ale rețelei a sarcinii monofazate întruchipată de mașinile de sudură de mare putere [157].

În privința unor utilaje, respectiv a unor instalații de sudare automată și semiautomată, activitatea de cercetare s-a concretizat în studierea, conceperea și realizarea unor instalații și aparate utile procesului de producție, dintre care se pot menționa: instalație de sudat în vid cu fascicul de electroni [158], instalație pentru sudare cu arc electric cu mai multe posturi și frecvență mărită [159], instalație pentru încărcarea prin sudare a bandajelor uzate de la roțile de tramvai [160], instalație pentru sudare semiautomată în $CO_2$ [161], automat de sudat sub flux *AST-1* [162], aparat de sudat cu electrod de wolfram în mediu protector de argon [163], pistolet pentru sudarea cu arc electric a buloanelor pe plăci [164]. Exemplele citate desigur

nu pot epuiza toate realizările în acest domeniu, care constituie o urmare firească a cercetărilor efectuate de diferitele colective de cercetători.

În încheiere menționăm că unele rezultate ale cercetărilor efectuate la noi în țară în domeniul utilajelor de sudare, sînt cuprinse sub formă sintetică și în cărțile de specialitate editate la noi în țară [124], [125], [165], [166] în care se găsesc reflectate bineînțeles și rezultatele cercetărilor din alte țări.

6. *Materiale pentru sudare.* În țara noastră cercetarea în domeniul materialelor pentru sudare a fost determinată de necesitățile industriei în dezvoltarea ei. Astfel, se cunoaște bine faptul că sortimentele de sîrme de sudură sînt relativ reduse ca număr, de aceea s-a pus de la început problema folosirii sîrmelor de sudură puțin aliate, iar pentru a asigura compoziția chimică dorită, să se introducă elemente de aliere în învelișul electrodului, sau în fluxul pentru sudare. Altfel spus, aceasta înseamnă o aliere în arcul electric.

În ceea ce privește alierea în arcul electric, există o tradiție atît la Fabrica de electrozi de la Cîmpia Turzii cît și la Centrul de cercetări tehnice al Bazei Academiei R.S.R. din Timișoara. Se pot aminti o serie de lucrări apărute în ultimii ani, care tratează această problemă atît din punct de vedere teoretic cît și practic. La început cercetările au urmărit elaborarea de electrozi pentru sudarea oțelurilor aliate [167] sau pentru sudarea fontei [168]. Paralel s-au cercetat calitățile stabilizatoare ale învelișurilor de electrozi [169], [170] și probleme legate de utilizarea ferosiliciului în învelișul electrozilor [171].

În condiții deosebit de favorabile are loc alierea în cazul sudării automate sub flux ceramic, de aceea s-au întreprins un șir de cercetări în acest domeniu, studiindu-se printre altele comportarea substanțelor de protecție care intră în compoziția fluxurilor ceramice [172], acțiunea oxidului de aluminiu în cursul sudării [173] și alte probleme legate de fabricarea fluxurilor ceramice. Astfel, la tramvaiele din București și la CCT s-a studiat mecanizarea fabricării fluxurilor ceramice [174], în special a granulării lor [175]. Mai tîrziu s-a cercetat și problema măririi rezistenței mecanice a granulelor acestor fluxuri [176].

Începînd din anul 1956 procedeul sudării electrice automate cu arc acoperit se răspîndește din ce în ce mai mult. Apar o serie de lucrări care expun experiența dobîndită în acest domeniu. Astfel de preocupări găsim la Reșița [33], la sudarea recipienților în industria de petrol [21], la sudarea cazanelor de locomotive [35] și a mașinilor agricole [11]. Se încearcă sudarea automată sub flux cu două sîrme [177], încărcarea cilindrilor de laminor la Hunedoara [63] și a bandajelor de locomotivă [59].

O serie de cercetări întreprinse în laborator au aplicații imediate în industrie. Studiul alierii oțelului moale cu carbon [178], sau cu alte elemente de aliere în special cu mangan, crom și siliciu [179], [180], [62], [181], a comportării fluxurilor în procesul de sudare [182], au permis elaborarea

unor serii de fluxuri cu diferite aplicații. Amintim încărcarea bandajelor uzate la roțile de tramvai [61], sudarea oțelurilor slab aliate în instalațiile rafinăriilor de petrol [66] și sudarea rezervoarelor din oțel inoxidabil în industria chimică [183].

A fost pusă la punct sudarea automată cu electrod bandă [62], [184]. Aplicînd acest procedeu împreună cu un flux conținînd elemente de aliere, s-au obținut straturi cu rezistență sporită la atacul de cavitație [185]. De asemenea s-au efectuat cercetări în vederea refolosirii crustei rezultate la sudare [186].

Procedeul alierii în arc a permis și rezolvarea încărcării conurilor sapelor de foraj [56].

S-au stabilit unele relații cantitative în ceea ce privește alierea picăturilor în arc [187] și s-au făcut încercări pentru determinarea conținutului de hidrogen în metalul depus cu electrozi de sudură [188], [189].

7. *Construcții sudate.* În acest domeniu, datorită posibilităților largi de aplicare a sudării, găsim cercetări și realizări importante în toate ramurile producției industriale [190], [208], [209]. Lucrările prezentate la diferite manifestări științifice naționale și internaționale, experiența dobîndită cu ocazia unor construcții de seamă, și îmbunătățirea continuă a materialelor de adaos, de bază, a tehnologiilor de sudare, creează noi premize pentru aplicarea sudării [192], [193], [21], [10], [197], [14], [25], [26], [198], [83], [205], [64], [55], [38], [210], [32], [212], [165].

În siderurgie amintim lucrările de sudare efectuate în construcția de mari furnale [165], un coș metalic sudat de *76 m* înălțime, oale de turnare, macarale, funiculare, conducte [205], [214] și turbosuflante cu debite pînă la *120 000 m³/min* [90], [203], [204].

În construcții metalice industriale se remarcă halele uzinelor electrice din Timișoara [1], scheletul metalic sudat al Ministerului Căilor ferate și al Casei Scînteii din București [190], [69], [68], [212], [213], și cupola metalică a Pavilionului expoziției naționale din București [210], [211]. Tot aici relevăm și diferitele poduri rulante cu sarcini și deschideri mari executate în construcție sudată [190]. În ultimul timp se poate observa și o creștere substanțială a execuției podurilor folosind parțial sau total sudarea [199], [206], [29], [1].

La calea ferată sudarea se aplică pentru realizarea căii continue [202], în construcția vagoanelor și locomotivelor. La vagoane, sudarea este folosită la toate tipurile, începînd cu vagoanele clasă [190], [30], de marfă și cisterne [202], [213]. La construcția locomotivelor cu abur, sudarea s-a aplicat mai ales la cazane [35], iar azi, cînd fabricația acestor locomotive a fost părăsită, se execută multă sudură de întreținere. Sudarea ocupă un loc important în construcția locomotivelor diesel-electrice, diesel-hidraulice și electrice [201], [204], [165].

În construcțiile navale, sudarea începe să înlocuiască nituirea din anii *1951 ... 1952*, ajungîndu-se azi ca toate navele fabricate la șantierele din

Galați, Brăila, Turnu-Severin, Oltenița, să fie în întregime sudate [20], [23], [83].

În industria chimică și petrolieră, sudarea și-a găsit un vast teren de aplicații la conducte [13], [14], [36], [165], la pompe [55], la recipienți mari [21], [22], [13], [26], la rezervoare și vase agabaritice [25], [26], [207], la recipienți de mare presiune [196], [31], [32], la instalații pentru rafinării și altele [66], [38].

În industria constructoare de mijloace de transport rutiere se găsesc o serie de realizări frumoase în construcții sudate. Este regretabil că aceste rezultate se oglindesc foarte puțin în publicații [165].

Industria constructoare de mașini folosește multă sudură la realizarea turbinelor cu aburi [19], [194], [65], [64], la realizarea mașinilor electrice [191], a turbinelor hidraulice [204], a transformatoarelor [200]. De asemenea se remarcă soluții ingenioase în construcția de mașini unelte, prese, conducte forțate și mașini agricole [195], [9], [11].

8. *Tăierea termică a metalelor* folosind flacăra oxiacetilenică și mai recent, plasma, a făcut obiectul unor cercetări destul de numeroase îndreptate asupra utilajelor, materialelor și tehnologiei de tăiere. O lucrare de prezentare a problemelor tăierii cu oxigen [215] a fost prezentată la prima consfătuire de sudură. S-a cercetat tăierea cu oxigen a fontelor, folosind reacțiile termochimice ale unor pulberi de fier insuflate în flacără [216]. O altă chestiune abordată a fost aceea a automatizării proceselor de tăiere, studiindu-se concomitent influențele purității oxigenului, debitelor de oxigen și acetilenă și altor factori asupra vitezei de tăiere și a metalurgiei tăieturii [217], [218].

Legat de tăierea metalelor cu oxigen, găsim o serie de lucrări referitoare la generarea acetilenei și mai ales a construcției unor stații centrale [222], [223]. De asemenea sînt prezentate unele realizări privind fabricația oxigenului necesar sudării și tăierii termice [225], [226], [227].

O lucrare interesantă [224] tratează posibilitatea înlocuirii acetilenei cu gaz metan la tăierea cu oxigen și efectele ei asupra performanțelor obținute.

În fine, remarcăm o lucrare [219], [220], [221] în care se tratează dăltuirea cu arc electric și aer, cu aplicații la curățirea rădăcinii cusăturii, la rabotarea și tăierea metalelor.

În ceea ce privește tăierea cu plasmă, prima lucrare realizată în țara noastră se referă la generarea plasmei cu argon și la aplicarea ei în operații de tăiere a unor table de aluminiu de *4 pînă la 6 mm* grosime [228]. În urma cercetărilor duse în anii ce au urmat acestei realizări, s-au publicat o serie de lucrări privind fenomenele la aprinderea jetului de plasmă [229], privind comanda automată a proceselor de trecere de la jet la arcul de plasmă [230], privind creșterea concentrării jetului de plasmă. Aceste lucrări au creat apoi posibilitatea studierii condițiilor de formare ale arcului secundar, deosebit de periculos pentru stabilirea plasmei și durabilitatea ge-

neratorului [231]. Folosind focalizarea magnetică și injectarea unui gaz suplimentar în exteriorul ajutajului, s-a reușit să se mărească stabilitatea jetului de plasmă [232].

Cunoștințele acumulate au făcut posibilă construirea unor generatoare de plasmă cu performanțe ridicate. Cu acestea s-a reușit să se efectueze tăieturi de calitate, la oțeluri inoxidabile, sub formă de table avînd grosimi de *10 pînă la 60 mm.*

In domeniul plasmei, mai găsim o lucrare publicată [233] în care se pune accentul pe tăierea manuală. Generatorul descris funcționează cu argon pînă la grosimi de *20 mm* în oțel inoxidabil.

9. *Școlarizare, terminologie, standardizare și protecție a muncii.*

Problema formării cadrelor de sudori la toate nivelele stă în atenția specialiștilor noștri. Găsim în acest domeniu lucrări de sinteză [234], [237] în care se descriu metodele de școlarizare folosite în diverse țări. O atenție mare s-a dat sudorilor ce lucrează la instalații supuse verificărilor metrologice [236], [238], arătîndu-se că este necesară mărirea numărului de probe ce stau la baza autorizării lor. Pentru formarea sudorilor ce activează în căile ferate, se găsește o lucrare [235] în care problemele sînt tratate cu deosebită atenție.

In ceea ce privește terminologia sudurii, ea a fost reluată cu ocazia celei de a II-a Consfătuiri de sudură și încercări de metale din *1956* [239], pornind de la terminologia elaborată în cadrul Cercului pentru încurajarea sudurii [2]. O dată cu aderarea României la *IIS,* un grup de cercetători a colaborat cu comisia de terminologie a Institutului, întocmind versiunea românească a broșurilor multilingve editate de IIS în *1961* și *1965* [240], [241]. De asemenea s-a redactat și standardul de terminologie.

Standardizarea în domeniul sudurii a progresat mult, astfel că azi avem peste *28* de standarde în vigoare, multe în curs de elaborare, precum și o serie de standarde din alte domenii legate de sudare.

Protecția muncii în domeniul sudurii este o chestiune foarte complexă, din cauza multitudinii factorilor nocivi existenți. In acest domeniu, activitatea publicistică este redusă și nu reflectă realizările obținute la locurile de muncă. Găsim astfel o lucrare cu caracter general [242] care se referă mai ales la probleme de natură electrică cum ar fi: securitatea față de tensiunile înalte de alimentare, electrocutarea, punerea la pămînt a mașinilor și transformatoarelor de sudură și altele. O altă lucrare se referă la sticlele colorate folosite în sudură [243], prezentîndu-se date ale unor măsurători de radiații ce trec prin ele. Conform acestora, sticlele analizate s-au dovedit a fi corespunzătoare cu normele internaționale. In domeniul generatoarelor de acetilenă găsim cercetări [244] care au dus la stabilirea instrucțiunilor de construire, exploatare, verificare și reparare a acestora, în condiții de securitate a muncii. In fine, se remarcă și unele cercetări privind ventilația locului de muncă a sudorilor [245].

10. Succinta privire pe ansamblu pe care ne-am străduit să o realizăm, pe baza lucrărilor publicate, relevă unele aspecte utile în perspectiva dezvoltării cercetării științifice și tehnice în domeniul sudurii. Se constată că în anumite direcții cum ar fi : sudarea în mediu de gaz protector și sudarea prin presiune, s-a pus un accent mai mic decît la sudarea cu alte procedee. Acest lucru nu este justificat, pentru că procedeele de sudare amintite oferă avantaje tehnico-economice considerabile. O altă preocupare de perspectivă socotim că trebuie să fie lărgirea sortimentelor de materiale pentru sudare de producție indigenă. În ceea ce privesc utilajele pentru sudare și dispozitivele necesare mecanizării și automatizării proceselor tehnologice ale sudării, observăm că cercetările științifice efectuate trebuie să-și găsească o mai rapidă aplicare în practică.

Complexitatea sudurii cere un ansamblu de cercetări științifice în direcții extrem de variate, care impun cercetării științifice teme tot mai numeroase. Astfel, se menționează temele privind metalurgia sudurii, diversificate după procedee de sudare și după metalele și aliajele metalice care vin în considerație. De asemenea procedeele fizice de sudare ca : sudarea cu plasmă, sudarea la rece, sudarea prin frecare, sudarea cu jet de electroni și sudarea cu laser, necesită cercetări complexe de metalurgie, materiale, electrotehnică, electronică și adeseori de fizică-matematică. În același loc procedeele conexe sudării, cu aplicabilitate foarte mare, necesită de asemenea cercetări variate.

În concluzie, cercetarea științifică și tehnică în domeniul sudurii a cunoscut o amplă dezvoltare cu remarcabile realizări, utile procesului de industrializare socialistă a țării și care au contribuit la creșterea patrimoniului științei și tehnicii românești, afirmîndu-se pe plan internațional.

BIBLIOGRAFIE ★

1. C. Mikloși, C. C. Teodorescu (1936): *Procedeele industriale de sudură*, Institutul Român de Energie, București.
2. Cercul pentru încurajarea sudurii, Timișoara (1941): *Terminologia sudurii*. Timișoara Tipografia românească.
3 Acad. C. Mikloși (1956): *Sudabilitatea ca problemă științifică*. CSIM.
4. ★ ★ ★ STAS 5555-57 : *Sudarea metalelor — Terminologie.*
5. V. Micloși (1965): Alegerea și controlul oțelurilor pentru construcții din punct de vedere al sudabilității. *CSIM.*
6. A. Forje și colab. (1965): Criterii pentru determinarea sudabilității unor oțeluri speciale folosite în montajul centralelor termoelectrice. *CSIM.*
7. Acad. C. Mikloși (1958): Despre cunoștințele actuale privind ruperea casantă a oțelului din construcții sudate. *Metalurgia și Construcția de mașini, 5.*
8. Acad. C. Mikloși (1959): Sudabilitatea oțelurilor, Ed. transporturi și telecomunicații.
9. Vl. Popovici, A. Bitang (1956): Conducte forțate sudate pentru centrala hidroelectrică Crăinicel-Văliug. *CSIM.*

★ Vezi abrevierile de pe ultima filă !

10. Vl. Popovici (1956): Realizarea și experiența uzinelor CM Reșița la construcțiile sudate cu pereți groși. *CSIM.*
11. I. Vasile (1959): Sudarea oțelurilor carbon de construcții în fabricația de mașini agricole de recoltat. *CSIM.*
12. R. Grabovski, Vl. Popovici (1959): Încercarea sudabilității oțelurilor de construcție la Combinatul Metalurgic Reșița. *CSIM.*
13. I. Avram (1962): Procedee și utilaje folosite la sudarea recipienților și conductelor din oțeluri obișnuite și slab aliate. *CSIM.* caiet I/1.
14. V. Capbătut (1962): Tehnologia execuției îmbinărilor sudate la conducte magistrale. *CSIM.* Caiet I/1.
15. M. Băltănoiu, S. Sontea (1962): Cercetarea oțelurilor destinate construcției sudate a locomotivei diesel-electrice. *CSIM,* Caiet II/4.
16. I. Avram și colab. (1965): Contribuții la studiul factorilor care influențează sensibilitatea fragilității la rece a profilelor groase din oțel carbon calmat. *CSIM.*
17. I. Avram, R. Grabovski (1965): Contribuții la asigurarea calității ansamblelor sudate ale locomotivei diesel-electrice. *CSIM.*
18. M. Rațiu (1955): Studii preliminare asupra introducerii OLX52 în construcții sudate.
19. Vl. Popovici, G. Creția (1959): Carcasă sudată pentru turbina de 3 000 kW. *CSIM.*
20. Gh. Vereguț (1956): Realizările și experiența Șantierului naval Turnu-Severin în aplicarea sudurii în construcțiile navale. *CSIM.*
21. G. Ruican (1956): Aplicarea sudării automate la recipienții mari din industria de petrol. *CSIM.*
22. G. Ruican (1959): Sudarea recipienților pentru industria chimică. *CSIM.*
23. * * * (1959): Introducerea și dezvoltarea sudării în Șantierul naval Galați. *CSIM.*
24. P. Sulea (1959): Sudarea oțelului Arc 4 în condiții speciale. *CSIM.*
25. I. Lupescu (1962): Sudarea rezervoarelor pentru propan executate din oțel slab aliat 16 GT (3 N). *CSIM.*
26. G. Ruican (1962): Utilizarea oțelurilor slab aliate cu mangan și molibden în construcțiile sudate pentru industria chimică. *CSIM.*
27. Gh. Ionescu, și colab. (1965): Ameliorarea structurii sudurilor realizate la temperaturi joase prin tratamente termice cu încălzire electrică. *CSIM.*
28. A. Caracostea (1965): Dezvoltarea construcției podurilor metalice sudate în R. S. România. *CSIM.*
29. R. Muscan (1955): Aplicarea sudurii la confecționarea cisternelor autoportante. *CS.*
30. C. Bakonyi junior (1955): Aplicarea sudurii la construcția vagoanelor de cale ferată. *CS.*
31. V. Berinde și colab. (1965): Realizarea în țară a recipienților de înaltă presiune prin sudură. *CSIM.*
32. V. Roșca (1965): Elaborarea tehnologiei de sudare pentru recipienții de înaltă presiune, prin straturi multiple din tablă înfășurată pe o cămașă centrală și sudate pe generatoare. *CSIM.*
33. G. Pop (1956): Experiența uzinelor C. M. Reșița la sudarea cu arc acoperit. *CSIM.*
34. G. Ruican (1955): Stadiul actual al sudurii automate sub strat de flux. *CS.*
35. D. Mocanu și colab. (1959): Aplicarea sudării automate sub strat de flux la repararea și construirea cazanelor de locomotivă. *CSIM.*
36. A. Șerban (1965): Cercetări privind fabricarea țevilor din oțel sudate elicoidal. *CSIM.*
37. I. Vasile (1962): Electronituirea aplicată în construcția mașinilor agricole de recoltat. *CSIM,* Caiet I/5.
38. I. Lupescu și colab. (1965): Realizări privind aplicarea procedeului de sudare în baie de zgură la uzinele „23 August" București. *CSIM.*
39. O. Stoenescu (1965): Unele îmbunătățiri aduse procedeului de sudare electrică în baie de zgură. *CSIM.*
40. C. Șarlău și colab. (1962): Contribuții la sudarea în baie de zgură a oțelului de construcție; studiul influenței ultrasunetelor asupra calității îmbinării sudate. *CSIM,* Caiet I/5.

41. V. Micloşi, O. Centea (1965): Fenomene tranzitorii la retopirea electrică în baie de zgură. *CSIM.*
42. I. Tripşa, M. Costescu (1965): Cercetări privind influenţa retopirii electrice sub zgură asupra calităţii oţelurilor de rulmenţi. *CSIM.*
43. O. Centea, M. Hrelescu (1965): Cercetări asupra sudării semiautomate în mediu protector de bioxid de carbon. *Broşura de comunicări a celei de a IV-a Conferinţe de sudură, Budapesta.*
44. M. Hrelescu, H. Selmereanu (1964): Consideraţii asupra sudării în mediu protector de bioxid de carbon. *Broşura de comunicări a consfătuirii de la Iaşi.* IDT Bucureşti.
45. S. Folteanu, V. Ciobotaru (1962): Sudarea în atmosferă protectoare de bioxid de carbon, cu instalaţia construită în Şantierul Naval Galaţi, *CSIM,* Caiet I/5.
46. I. Vasile (1965): Folosirea sudării în mediu de bioxid de carbon la fabricarea maşinilor agricole. *CSIM.*
47. V. Doboşan, N. Caşcaval (1965): Unele încercări asupra sudării în mediu de bioxid de carbon cu electrod bazic, introdus în rost. *CSIM.*
48. S. Folteanu, C. Duţu (1965): Realizări noi privind sudarea în mediu protector de bioxid de carbon, obţinute în Şantierul naval Galaţi. *CSIM.*
49. P. Ionescu, A. Petrişor (1965): Consideraţii asupra sudării cuprului cu electrod de wolfram în mediu de argon. *CSIM.*
50. I. T. Ecnim (1965): Rezultate obţinute la sudarea aluminiului în mediu protector de argon. *CSIM.*
51. D. Both şi colab. (1965): Contribuţii la nituirea prin sudare în mediu de argon cu electrod fuzibil. *Buletinul ştiinţific şi tehnic al I.P. Timişoara,* 8.
53. T. Sălăgean (1964): Cîteva probleme ale încărcării prin sudare. *Broşura de comunicări a consfătuirii de la Iaşi,* IDT-Bucureşti.
54. Gh. Ionescu (1959): Realizarea matriţelor şi ştanţelor prin sudare de încărcare. *CSIM.*
55. A. Kurtag (1965): Sormaltizarea pieselor pentru pompele petroliere de tip 5H. *CSIM.*
56. P. Năicuiescu, N. Greavu (1965): Alegerea procedeului de încărcare a conurilor sapelor de foraj. *CSIM.*
57. A. Ivancenco (1965): Încărcarea pieselor prin sudare cu electrod vibrator şi consideraţii asupra alegerii sursei de alimentare cu curent. *CSIM.*
58. Gh. Zamfir şi colab. (1965): Cercetări privind încărcarea pieselor prin contact electric vibrator. *CSIM.*
59. Gh. Marga, E. Apostol (1962): Încercări de laborator privind încărcarea prin sudare electrică automată sub strat de flux a bandajelor de locomotivă. *CSIM,* Caiet I/4.
60. D. R. Mocanu (1965): Unele consideraţii privind recondiţionarea prin sudare a bandajelor uzate de la roţile vagoanelor din parcul CFR, *CSIM.*
61. T. Sălăgean şi colab. (1961): Încărcarea prin sudare a bandajelor de la roţile de tramvai. *SCST* nr. 1—2.
62. M. Hrelescu şi colab. (1964): Alierea oţelului moale cu *Cr* şi *Mn* la încărcarea prin sudare automată cu electrod sub formă de bandă. *Construcţia de maşini, 2.*
63. O. Klöckl (1965): Aplicarea încărcării prin sudare sub flux la cilindrii de laminor. *CSIM.*
64. M. Contor (1965): Placarea prin încărcare cu cupru a butucilor pentru hidroagregate de 11,5 şi 22,5 MW. *CSIM.*
65. W. I. Scheibert (1962): Sudarea conductelor de abur din oţel aliat la montarea termocentralelor cu parametri ridicaţi, *CSIM,* Caiet I/1.
66. I. Potra, A. Petrişor (1965): Sudarea oţelurilor slab aliate (1% *Cr,* 0,5% *Mo*) în instalaţiile rafinăriilor de petrol. *CSIM.*
67. D. Radu şi colab. (1965): Studiul tehnologiei de sudare a oţelurilor termorezistente folosind electrozi ElMoCB şi ELVMOCB de fabricaţie indigenă. *CSIM.*
68. V. Brătescu, V. Hossu (1965): Contribuţii privind asimilarea metodei de îmbinare în cochilă a armăturilor de beton armat. *CSIM.*
69. D. Stănculescu-Ghigheanu (1965): Sudarea barelor pentru beton armat cu arcul electric în manşon cilindric. *CSIM.*

70. I. David (1955): Repararea cilindrilor de locomotivă nedemontați, prin sudură. *CS.*
71. E. Fira, Gh. Voinea (1965): Lucrări de reparații prin sudare efectuate la rotoarele turbinelor cu abur. *CSIM.*
72. E. Fira (1965): Recondiționarea prin sudură aluminotermică a unui arbore cotit. *CSIM.*
73. Vl. Popovici, D. Radu (1966): Repararea prin sudare a unui bloc de motor Diesel de 3 500 CP. *Construcția de mașini, 12.*
74. C. Șarlău, D. Radu (1961): Repararea prin sudare a arborelui principal al unei pompe de 80 tone. *Construcția de mașini, 10.*
75. T. Sălăgean (1959): Sudarea fontei cenușii în R.P.R. *Zvaranie, 5* (R.S. Cehoslovacă).
76. G. Pop (1956): Recondiționarea prin sudare a valțurilor de laminor. *CSIM.*
77. D. Both și colab. (1966) : Contribuții la recondiționarea sculelor din oțel rapid prin încărcări în mediu de hidrogen atomic. *Buletinul științific și tehnic al I.P. Timișoara.*
78. E. Zeteș, V. Cheșcheș (1959): Linie de sudare automată de la o Uzină din București. *CSIM.*
79. Vl. Popovici, E. Mîrzan (1962): Dispozitive pentru sudare realizate la Uzinele Electroputere Craiova pentru locomotiva Diesel-electrică. *CSIM,* Caiet I/2.
80. C. Ștefănescu (1959): Dispozitive ajutătoare folosite la executarea construcțiilor navale. *CSIM.*
81. Vl. Popovici, A. Kaleder (1965): Pregătirea mecanizată a unor rosturi la sudare. *CSIM.*
82. Vl. Popovici și colab. (1965): Dispozitive de sudare realizate la Uzinele Electroputere Craiova. *CSIM.*
83. S. Folteanu, V. Ciobotaru (1962): Incercări și rezultate practice de sudare automată pe stand electromagnetic flexibil efectuate la Șantierul naval Galați, *CSIM,* Caiet I/2.
84. T. Sălăgean și colab. (1964): Lipirea plăcuțelor de argint pe contactele electrice de cupru și alamă. *Construcția de mașini, 2.*
85. D. Both (1966): Contribuții la lipirea electrică prin presiune a alamei cu argint. *Buletinul științific și tehnic al I.P. Timișoara.*
86. T Sălăgean (1956): Sudarea cu energie înmagazinată a sîrmelor de cupru și aluminiu. *Zwaracsky Sbornik, 1* (R.S. Cehoslovacă).
87. Vl. Popovici, T. Sălăgean (1959): Incercări de sudare prin puncte cu energie înmagazinată. *CSIM.*
88. Vl. Popovici, A. Szénássy (1965): Ansamble sudate din materiale plastice aplicate în domeniul acoperirilor metalice galvanice. *CSIM.*
89. Vl. Popovici, A. Szénássy: Rotor de pompă centrifugă pentru medii corosive construit din plăci de vinidur, în execuție sudată. *Doc. IIS.*
90. Gh. Ionescu, A. Kolozsvári (1962): Sudarea paletelor turbosuflantei de 350 și 700 CP la Uzinele hidro-mecanice Brașov. *CSIM.*
91. M. Dumitrescu (1965): Sudarea barelor de aluminiu de mare secțiune. *CSIM.*
92. Acad. C. Mikloși (1956): Problema sudării șinelor de cale ferată. Academia R.P.R., Filiala Cluj, *Studii și cercetări de matematică și fizică, 1—4.*
93. Acad. C. Mikloși (1956): Despre problemele căii ferate fără legături prin eclise. *SCST, 3, 3—4.*
94. Colectivul Secției de sudură a Bazei Timișoara a Academiei R.S.R. (1955): Descrierea instalației „Taurus". *CS.*
95. M. Brașovan (1955): Sudarea șinelor de cale ferată prin energie înmagazinată sub formă cinetică. *CS.*
96. Acad. C. Mikloși: Sudarea șinelor în România. *Doc. IIS.*
97. E. Gîrlișteanu, S. Moga (1962): Determinarea coeficientului de frecare între dispozitivul de prindere și șină în cazul mașinilor de sudare prin topire intermediară. *SCST, 9, 1—2.*
98. Acad. C. Mikloși și colab. (1964): Influența forței de refulare asupra proprietăților mecanice ale șinelor sudate prin topire intermediară. *Construcția de mașini, 2.*
99. V. Micloși (1960): Sudarea prin topire intermediară a șinelor cu conținut ridicat în carbon. *Comunicare I, SCST, 7, 3—4.*

100. V. Micloşi, C. Boarnă (1961): Sudarea prin topire intermediară a şinelor cu conţinut ridicat în carbon. Nota II. *SCST*, 8, *1—2*.
101. T. Sălăgean şi colab. (1965): Comportarea la sudare a şinelor cu conţinut ridicat în carbon. *CSIM*.
102. T. Sălăgean şi colab. (1966): Cîteva probleme ale sudării prin topire intermediară a şinelor de cale ferată cu găuri de eclisare. *Broşura de comunicări a Institutului englez de sudură*.
103. E. Gîrlişteanu (1959): Încercări la oboseală în cazul şinelor sudate. *CSIM*.
104. Acad. C. Mikloşi şi colab. (1967): Cercetări privind sudarea şinelor de cale ferată realizate în anii 1963—1966. *Broşura de comunicări a Institutului de cercetări căi ferate*, Bucureşti.
105. Acad. C. Mikloşi (1958): Teoria căii ferate continue ca bază pentru evaluarea rezultatelor experimentale. *Metalurgia şi construcţia de maşini*, *4*.
106. Acad. C. Mikloşi (1961): Tratarea capătului căii ferate continue cu şine sudate. *SCST*, 7, *3—4*.
107. M. Rădulescu, I. Antonescu (1959): Introducerea şi extinderea căii ferate fără joante pe reţeaua CFR. *CSIM*.
108. I. Antonescu şi colab. (1965): Preocupări şi realizări în domeniul sudării şinelor de cale ferată. *CSIM*.
109. V. Micloşi şi colab. (1961): Sudarea electrică prin topire intermediară a barelor TOR 47. *SCST*, 8, *3—4*.
110. V. Micloşi şi colab. (1962): Sudarea barelor TOR-47. *CSIM*, Caiet I/7.
111. Acad. Şt. Nădăşan şi colab. (1967): Influenţa concentraţiei sursei termice asupra unor însuşiri fizico-mecanice ale sudurilor realizate electric prin topire intermediară. Academia R.S.R., *Studii şi cercetări metalurgice*, 12, *1*.
112. T. Sălăgean (1958): Sudarea în capete a fontei cenuşii. *SCST*, 5, *3—4*.
113. M. Gherman (1955): Sudarea prin presiune a conductelor pentru petrol şi gaze. *CS*.
114. M. Gherman (1959): Încercări de sudare a ţevilor după metoda oxiacetilenică prin presiune. *CSIM*.
115. T. Sălăgean, I. Sălăgean (1957): Diagrame pentru determinarea distribuţiei în timp şi spaţiu a temperaturii pieselor de sudat, la sudarea în capete. *SCST*, 4, *1—2*.
116. T. Sălăgean (1955): Consideraţiuni asupra sudării cu energie înmagazinată în cîmp electrostatic. *CS*.
117. T. Sălăgean (1955): Consideraţii asupra formei curentului de sudură la sudarea electrică prin energie înmagazinată în cîmp electrostatic. *SCST*, Anul 2.
118. T. Sălăgean (1956): Sudarea cu energie înmagazinată (Comunicarea II-a) *SCST*, 3, *1—2*.
119. V. Micloşi (1959): Contribuţii şi realizări în domeniul sudării electrice prin presiune. *CSIM*.
120. V. Micloşi (1955): Dispozitiv pentru comanda curentului de sudură la o maşină de sudat prin puncte. *CS*.
121. V. Doboşan, N. Caşcaval (1962): Procedeul sudării prin puncte în relief aplicat la saboţii de autocamion. *CSIM*, Caiet I/3.
122. D. Both, Lucia Florea Both (1962): Contribuţii la sudarea la rece a conductoarelor de aluminiu şi de cupru pentru instalaţiile electrice interioare. *CSIM*, Caiet I/3.
123. D. Both, Lucia Florea Both (1964): Contribuţii la sudarea prin puncte la rece a tablelor de aluminiu. *Buletinul ştiinţific şi tehnic al I.P. Timişoara*, 9, *1* şi *Doc. IIS*.
124. D. Both, L. Florea (1965): Unele rezultate obţinute în domeniul sudării la rece. *CSIM*.
125. Acad. C. Mikloşi (1965): *Manualul inginerului electrician. Vol.* V. Capitolul: Sudarea electrică, Ed. tehnică, Bucureşti.
126. Acad. C. Mikloşi şi colab. (1965): *Sudarea metalelor*. Ed. tehnică, Bucureşti.

127. V. Micloși (1962): Referat general privind procedee de sudare prin presiune și dispozitive de fabricație. *CSIM*, Caiet I/3.
128. T. Sălăgean (1956): Considerațiuni asupra transformatoarelor folosite la sudarea electrică. *CSIM.*
129. V. Micloși (1956): Considerațiuni asupra surselor de curent continuu pentru sudarea cu arc electric. *CSIM.*
130. V. Micloși (1957): Influența caracteristicii exterioare a transformatorului asupra efectului de șuntare. *SCST*, 4, *3—4.*
131. T. Sălăgean (1956): Citeva considerații asupra transformatoarelor cu șunt magnetic. *Rev. Electrotehnica, 3.*
132. Vl. Popovici (1959): Imbunătățirea calității utilajului pentru sudarea electrică manuală. *CSIM.*
133. A. Ivancenco (1964): Unele considerații practice asupra caracteristicilor statice ale arcului pentru sudare, asupra caracteristicilor exterioare ale surselor de alimentare și comportarea lor. *Construcția de mașini, 2.*
134. A. Ivancenco (1962): Referat general privind procedee și utilaje speciale de sudare. *CSIM*, Caiet I/5.
135. T. Sălăgean (1956): Considerații asupra transformatoarelor cu bobină de reactanță folosite la sudarea cu arc electric, *Electrotehnica, 5.*
136. I. Stoleru (1959): Transformatorul pentru sudarea manuală cu arc electric. TASM-300. *CISM.*
137. Vl. Popovici (1959): Transformatorul de sudare cu premagnetizare fără șunt magnetic variabil tip Siunov. *CSIM.*
138. V. Micloși (1958): Asupra aprecierii aptitudinii pentru sudare a generatoarelor de curent continuu. *Metalurgia și construcția de mașini, 5.*
139. C. Boarnă, E. Gîrlișteanu (1959): Aplicarea metodei Carrer la determinarea aptitudinii pentru sudare a generatoarelor de curent continuu. *CSIM.*
140. A. Ivancenco și colab. Observații asupra criteriului *A* de apreciere dinamică a transformatoarelor de sudură *Doc. IIS.*
141. T. Sălăgean, C. Boarnă: Asupra unor factori ce influențează comportarea dinamică a transformatoarelor de sudură. *Doc. IIS.*
142. T. Sălăgean, C. Boarnă: O relație între criteriile *A* și *P* propuse pentru aprecierea comportării dinamice a transformatoarelor de sudură. *Doc. IIS.*
143. T. Sălăgean și colab. (1965): Cercetări asupra comportării dinamice a transformatoarelor de sudură. *CSIM.*
144. T. Sălăgean, C. Boarnă: Considerații asupra erorilor la determinarea experimentală a criteriului de apreciere a comportării dinamice a transformatoarelor de sudură. *Doc. IIS.*
145. T. Sălăgean, C. Boarnă (1966): Cercetări asupra comportării dinamice a transformatoarelor de sudură — sinteză a cercetărilor efectuate. *La Saldatura Autogena, 6.*
146. T. Sălăgean, C. Boarnă: Determinarea tangentei geometrice la curba curentului de scurt-circuit, în cazul general. *Doc. IIS.*
147. Gh. Ionescu, Gh. Marga (1965): Construcția transformatorului de sudare reglat în curent continuu pentru automatizarea tratamentului termic al sudurii. *CSIM.*
148. V. Micloși (1957): Considerații asupra efectului volanului în grupurile motor-generator cu sarcină intermitentă. *SCST*, 4, *1—2.*
149. P. Stoianovici (1958): Sudarea electrică a șinelor cu energie luată din linia de contact a unui tramvai. *Metalurgia și constructia de mașini, 5.*
150. V. Micloși (1959): Asupra unei metode de control a stabilității topirii la sudarea prin topire intermediară. *SCST*, 6, *1—2.*
151. V. Micloși (1959): Asupra unei metode de control a preîncălzirii la sudarea electrică prin topire intermediară. *SCST*, 6, *3—4.*
152. V. Micloși (1960): Asupra unui sistem de automatizare a mașinii de sudat șine prin topire intermediară. *Broșura de comunicări a Comisiei de automatizare*, octombrie.

153. C. Boarnă, E. Gîrlișteanu (1960): Asupra problemei alimentării în joasă frecvență a mașinilor de sudat prin presiune *SCST*, 7, *3—4*.
154. T. Dordea (1958): Convertizor asincron din tri- în monofazat. *CSIM*.
155. T. Dordea și colab. (1957): Mașină asincronă convertizoare din tri- în monofazat. *SCST*, 4, *3—4*.
156. O. Centea, I. Novac (1959): Metodă de simetrizare completă, independent de sarcina convertizorului asincron tri- monofazat. *SCST*, 6, *3—4*.
157. T. Dordea și colab.: Posibilitate de încărcare simetrică a rețelei trifazate, la reacordarea unei surse monofazate de putere utilizată la sudare. *Doc. IIS*.
158. G. Comșa, C. Constantinescu (1965): Instalație de sudare în vid cu fascicol de electroni. *CSIM*.
159. Vl. Popovici și colab. (1965): Instalație pentru sudarea electrică cu arc cu mai multe posturi, la frecvență mărită. *CSIM*.
160. P. Stoianovici și colab.: (1962): Instalații pentru încărcarea prin sudare automată a bandajelor uzate de la roțile tramvaielor. *SCST*, 9, *1—2*.
161. C. Ionescu, V. Berinde (1962): Instalație pentru sudarea semiautomată în mediu protector de bioxid de carbon. *CSIM*, Caiet I/5.
162. A. Million (1959): Automatul de sudat sub flux AST-1, realizat în țară. *CSIM*.
163. I. T. Echim (1965): Aparat de sudat cu electrod de wolfram în mediu protector de argon. *CSIM*.
164. O. Centea (1959): Pistolet pentru sudarea cu arcul electric a buloanelor pe plăci. *CSIM*.
165. Vl. Popovici, T. Sălăgean (1965): *Automatizarea proceselor tehnologice ale sudării*. Ed. didactică și pedagogică, București.
166. O. Centea, V. Micloși (1967): Mașini și aparate pentru sudarea electrică. Ed. tehnică, București.
167. I. Valea (1962): Contribuții la elaborarea electrozilor pentru sudarea oțelurilor de construcție aliate cu Cr-Mn-Si. *CSIM*, Caiet I/4.
168. T. Sălăgean și colab. (1958): Electrozi pentru sudarea fontei. *SCST*, 5, *1—2*.
169. V. Micloși, M. Hrelescu (1958): Asupra unor metode pentru compararea calităților stabilizatoare ale învelișurilor de electrozi. *SCST*, 5, *1—2*.
170. V. Micloși, M. Hrelescu (1959): Asupra calităților stabilizatoare ale componentelor învelișurilor de electrod. *SCST*, 6, *3—4*.
171. T. Sălăgean, V. Geția (1959): Utilizarea ferosiliciului în învelișurile electrozilor pentru sudarea cu arcul electric. *SCST*, 6, *1—2*.
172. T. Sălăgean și colab. (1960): Câteva considerații asupra substanțelor de protecție la fluxurile ceramice. *SCST*, 7, *3—4*.
173. T. Sălăgean și colab. (1962): Asupra acțiunii oxidului de aluminiu în fluxurile ceramice. *SCST*, 9, *1—2*.
174. P. Stoianovici și colab. (1962): Mecanizarea fabricării fluxurilor ceramice. *CSIM*, Caiet I/4.
175. T. Sălăgean și colab. (1960): Granularea fluxurilor ceramice. *SCST*, 6, *3—4*.
176. M. Hrelescu și colab. (1966): Mărirea rezistenței mecanice la granulele fluxurilor ceramice. *Construcția de mașini*, *4*.
177. A. Million (1959): Sudarea automată sub flux cu două sîrme. *CSIM*.
178. T. Sălăgean, M. Hrelescu (1959): Alierea cu carbon a oțelului moale în arcul electric. *CSIM*.
179. T. Sălăgean și colab. (1962): Alierea oțelului moale la sudarea automată sub flux ceramic. *CSIM*, Caiet I/4.
180. T. Sălăgean și colab. (1962): Alierea oțelului moale cu crom și mangan în arcul electric. *SCST*, 9, *1—2*.
181. T. Sălăgean, F. Bär: Alierea oțelului moale în arcul electric cu crom, mangan și siliciu. *Doc. IIS*.
182. I. Avram (1959): Cercetarea comportării fluxurilor ceramice în procesul de sudare automată sub strat de flux. *CSIM*.
183. T. Sălăgean și colab.: Fluxuri ceramice pentru sudarea automată a oțelurilor inoxidabile de tipul 18/8 și aplicațiile lor. *Doc. IIS*.

184. T. Sălăgean și colab. (1962): Sudarea automată cu electrod bandă. *SCST*, 9, *3—4.*
185. M. Hrelescu și colab. (1965): Contribuții la studiul distrugerii prin cavitație a unor oțeluri obținute prin alierea în arcul electric. *CSIM.*
186. G. Ruican (1965): Cercetarea condițiilor de refolosire a crustei granulate, rezultate la procesul de sudare sub strat de flux. *CSIM.*
187. T. Sălăgean și colab. (1966): Asupra concentrației de saturație a picăturilor de metal topit la sudarea cu arcul electric sub fluxuri ceramice. Academia R.S. România, *Studii și cercetări de metalurgie.* **11**, *1.*
188. A. Million, I. Surgean (1965): Despre determinarea conținutului de hidrogen în metalul depus cu electrozi de sudură. *CSIM.*
189. G. L. Petrov, A. Million (1964): Contribuții la studiul influenței difuziei hidrogenului asupra formării fisurilor în îmbinările sudate. Academia R.S. România, *Studii și cercetări de metalurgie*, 9, *2.*
190. A. Kottlar (1955): Unele realizări în domeniul construcției de mașini sudate. *CS.*
191. Vl. Popovici (1955): Realizările și experiența uzinelor CM Reșița în construcțiile sudate din domeniul mașinilor electrice. *CS.*
192. Șt. Nădășan (1955): Calculul îmbinărilor sudate. *CS.*
193. D. Mateescu (1955): Construcții metalice sudate. *CS.*
194. Vl. Popovici, N. Baciu (1959): Diafragme sudate pentru turbinele cu aburi. *CSIM.*
195. V. Doboșan (1959): Lucrări de sudură executate la construcția presei de 1 500 tone pentru longeroane de autocamion. *CSIM.*
196. E. Manolescu și colab.: Recipienți de înaltă presiune, construcție sudată din mai multe straturi. *CSIM.*
197. N. Anghelea, N. Iosif (1959): Sudarea cu hidrogen atomic a oțelurilor 30 HGSA. *CSIM.*
198. D. Mateescu (1962): Referat general privind tehnica sudării la diferite construcții metalice. *CSIM.*
199. A. Caracostea, M. Rusu (1962): Sudura în construcția podurilor în R.P.R., *CSIM*, Caiet I/2.
200. G. Pop (1962): Construcții metalice sudate pentru transformatoarele fabricate la uzinele Electroputere Craiova. *CSIM*, Caiet I/2.
201. Vl. Popovici și colab. (1962): Construcția metalică sudată a locomotivei diesel-electrice Co-Co de 2 100 CP. *CSIM.* Caiet I/2.
202. M. Rădulescu, I. Antonescccu (1962): Aplicarea sudării la suprastructura metalică a căii ferate. *CSIM*, Caiet I/2.
203. O. Schegerin, I. Kabal (1962): Construcția metalică sudată a suflantei pentru gaz de 15 000 $Hm^3/h$, 1 200 mm c.A. *CSIM*, Caiet I/2.
204. O. Schegerin (1962): Noi realizări în domeniul construcțiilor sudate de la UCM Reșița. *CSIM.*
205. O. Schegerin (1962): Aplicarea încărcării dure și rezistente la uzură la aparatele de închidere pentru furnalele cu presiune ridicată. *CSIM.*
206. D. Sterian (1965): Reconstruirea cu tabliere metalice sudate a două poduri de șosea peste Dîmbovița în București. *CSIM.*
207. B. Rudnițchi, P. Ionescu (1965): Execuția rezervoarelor cilindrice verticale sudate din oțel și a altor vase tehnologice agabaritice din industria chimică și petrolieră prin metoda înfășurării. *CSIM.*
208. A. Moga (1965): Unele aspecte ale preocupărilor din domeniul sudării în R.P. România. *CSIM.*
209. A. Moga, V. Berinde (1965): Tehnica sudării și perspectivele ei de dezvoltare în construcția de mașini. *CSIM.*
210. C. Șarlău, D. Radu (1965): Studiul privind forma, calculul și execuția îmbinărilor sudate la construcțiile din țevi. *CSIM.*
211. D. Mateescu și colab. (1965): Cupola metalică sudată a pavilionului expoziției economiei naționale a R.P.R. *CSIM.*
212. V. Popescu și colab. (1965): Unele aspecte privind sudarea construcțiilor metalice. *CSIM.*
București.

213. I. Vasile și colab. (1958): *Tehnologia sudării și a tăierii metalelor.* Ed. tehnică.
214. C. C. Teodorescu și colab. (1967): *Îmbinări sudate.* Ed. tehnică, București.
215. D. Both (1955): Metode noi de tăiere cu oxigen. *CS.*
216. A. Domșa, E. Bicsak (1962): Utilizarea reacțiilor termochimice ale unor pulberi de fier insuflate în flacăra oxiacetilenică la tăierea fontelor. *CSIM,* Caiet I/6.
217. G. Pop (1962): Tăierea automată cu oxigen la uzina Electroputere Craiova. *CSIM,* Caiet I/6.
218. Vl. Popovici, V. Diaconu (1965): Extinderea mecanizării și automatizării proceselor de sudare și tăiere oxiacetilenică la uzina Electroputere Craiova. *CSIM.*
219. M. Breazu (1962): Influența dăltuirii cu arc electric și aer comprimat (arc-aer) asupra calității îmbinărilor sudate, *CSIM,* Caiet I/6.
220. M. Breazu (1965): Realizarea procedeului „arc-aer" automatizat și a primului agregat automat „arc-aer". *CSIM.*
221. Vl. Popovici, M. Breazu: Contribuții la automatizarea procedeului „arc-aer". *Doc. IIS.*
222. M. Hrelescu (1956): Procese de gazeificare la generatoare de acetilenă. *CSIM.*
223. G. Pop (1962): Stații centrale de generare a acetilenei realizate la uzina Electroputere Craiova. *CSIM,* Caiet I/6.
224. I Schalik (1962): Inlocuirea acetilenei cu gaz metan la tăierea cu oxigen a oțeiurilor. *CSIM* Caiet I/6.
225. O. Creșneac, Vl. Popovici (1956): Experiența Combinatului siderurgic Reșița în respectarea calității oxigenului la tăierea și sudarea cu flacără oxiacetilenică. *CSIM.*
226. Vl. Popovici, O. Creșneac (1959): Din experiența construirii și exploatării unei fabrici de oxigen. *CSIM.*
227. O. Creșneac (1959): Sisteme de curățire a aerului în tehnica fabricării oxigenului. *CSIM.*
228. D. Popovici, M. Hrelescu (1964): Contribuții la studiul jetului de plasmă. *Construcția de mașini, 2.*
229. A. Vaș, D. Popovici (1966): Considerațiuni asupra unor fenomene la aprindere a jetului de plasmă. *Construcția de mașini 4,* și *Doc. IIS.*
230. A. Vaș, D. Popovici (1965): Contribuții la studiul tăierii cu arc de plasmă. *CSIM.*
231. A. Vaș, D. Popovici: Asupra formării arcului secundar la generatoare de plasmă. *Doc. IIS.*
232. A. Vaș, D. Popovici (1966): Contribuții la studiul fenomenelor de geneare a plasmei, *Broșura de comunicări a ICTCM,* București.
233. P. T. Echim (1965): Aplicarea procedeului de tăiere a metalelor cu jet de plasmă *CSIM.*
234. M. Hrelescu (1959): Raport general asupra școlarizării în tehnica sudării. *CSIM.*
235. D. Mocanu (1959): Problema formării sudorilor necesari în întreprinderile Ministerului Transporturilor și Telecomunicațiilor. *CSIM.*
236. Gh. Mărcuș (1959): Autorizarea sudorilor care lucrează la fabricarea, montarea și repararea instalațiilor mecanice sub presiune și a instalațiilor de ridicat. *CSIM.*
237. I. Ionescu (1962): Referat general privind problema învățământului, protecției muncii și tehnicii securității. *CSIM* Caiet I/8.
238. G. Giurcăneanu (1962): Unele aspecte privind eficiența probelor practice pe care le susțin la autorizare sudorii care execută lucrări la instalații sub presiune și de ridicat. *CSIM* Caiet I/8.
239. *** (1956): Terminologia sudării pentru metale și aliaje (proiect de standard) *CSIM.*
240. IIS/IIW (1961): *Recueil terminologique multilingue du soudage et techniques connexes.* Soudage électrique par résistance. Assoc. Suisse pour la techn. du soud., Bâle.
241. IIS/IIW (1965): *Recueil terminologique du soudage et techniques connexes.* Coupage par voie thermique. Assoc. Suisse pour la techn. du soud., Bâle.
242. Șt. Grosu (1959): Aspecte de tehnica securității la sudarea cu arc electric. *CSIM.*
243. Institutul de cercetări științifice pentru protecția muncii (1962): Protecția ochilor la lucrările de sudură. *CSIM,* Caiet I/8.

244. O. Schnabel (1962): Reglementarea construcției și exploatării generatoarelor de acetilenă, problemă importantă din punct de vedere al protecției muncii. *CSIM* Caiet I/8.
245. V. Voicu, E. Casian (1965): Sisteme de ventilare pentru combaterea nocivității la sudare. *CSIM.*
246. Acad. C. Mikloși și colectiv (1959): Capitole alese din tehnica sudării pentru specializarea personalului de cale ferată : *Metalurgia sudării prin topire a oțelului. Tehnologia sudării aluminotermice. Încărcarea prin sudare.* Ed. transporturilor și telecomunicațiilor.
247. *** (1959): Sudarea oțelurilor de construcție. Ed. tehnică, București.
248. M. Șmilovici, C. Million (1962): *Îndrumător pentru îmbinări sudate,* Ed. tehnică, București.
249. M. Breazu și colab. (1966): *Îndrumătorul sudorului.* Ed. tehnică, București.
250. D. Both (1967): *Tehnologia sudării electrice.* Ed. didactică și pedagogică. București.

*Abrevierile folosite la bibliografie*

CS 1955 : Comunicările Consfătuirii de sudură pe țară, sept. 1955, Litografia Învățământului Timișoara.
CSIM 1956 : Consfătuirea de sudură și încercări de metale 1956. Comunicări vol. I. Litografia Învățământului Timișoara.
CSIM 1959 : Lucrările Consfătuirii de sudură și încercări de metale 1959 Timișoara.
CSIM 1962 : A IV-a Consfătuire de sudură și încercări de metale, Timișoara 1962, IDT. București 1964.
CSIM 1965 : Comunicările celei de a V-a Conferințe de sudură și încercări de metale, Vol. Sudură, Timișoara 1965.
SCST 1954—64 : Academia R.P.R., Baza de cercetări științifice Timișoara. Studii și cercetări, Științe tehnice.
DOC IIS. : Document al Institutului Internațional de Sudură.

*Manuscris primit în redacție în iunie, 1967*

# STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR ÎN DOMENIUL ÎNCERCĂRILOR NEDISTRUCTIVE CU RADIAȚII PENETRANTE. II.*)

M. GR. NĂSTASE

*Centrul de mecanica solidelor al Academiei Republicii Socialiste România, București*

In această lucrare se prezintă stadiul actual al cercetărilor de defectoscopie nedistructivă cu radiații penetrante (raze x și raze gama) în țara noastră, precum și unele aspecte privind activitatea de cercetare în acest domeniu și valorificarea rezultatelor în producție.

In finalul lucrării sînt arătate avantajele și dezavantajele metodelor cu radiații penetrante, domeniile lor de utilizare, concludența încercărilor nedistructive, necesitatea cunoașterii comparative și a utilizării combinate a diverselor metode de încercări, dispersia și evaluarea rezultatelor, unele concluzii și bibliografia de specialitate.

## 6. STADIUL ACTUAL IN ȚARA NOASTRĂ

### 6.1. Scurt istoric și unități cu preocupări în acest domeniu

In țara noastră — ca și în alte țări — metoda cu radiații penetrante are utilizarea cea mai largă.

Aplicațiile în producție ale controlului nedistructiv cu radiații penetrante au început avînd ca bază de plecare aparatură din import, prospectele respective și lucrări străine de specialitate.

Treptat însă, dezvoltarea impetuoasă a industriei în țara noastră și în special a construcțiilor de mașini a determinat nemijlocit și dezvoltarea preocupărilor — începînd din 1955—1956 — pentru studii și cercetări științifice în domeniul încercărilor nedistructive, pentru confecționarea de aparatură, pentru formarea de cadre de specialitate.

O acțiune de pionierat în această direcție a fost dusă de Institutul de fizică atomică (I.F.A.) al Academiei Republicii Socialiste România. In acest institut au început primele

*) *Partea I s-a publicat în nr. 1/1967.*

studii și cercetări ; tot aici a început să se construiască aparatură necesară și tot I.F.A. a organizat cursurile pentru formarea de specialiști pentru utilizarea radiațiilor în diverse domenii : industrie, chimie, medicină, biologie, agricultură etc. În același timp I.F.A., prin reactorul nuclear, asigură izotopii radioactivi necesari.

Alte unități în care s-au efectuat unele studii și cercetări de defectoscopie cu radiații penetrante sau valorificări de rezultate în urma diferitelor aplicații în producție sînt : Institutul de mecanică aplicată (în prezent Centrul de mecanica solidelor) al Academiei, Institutele politehnice din Timișoara și Iași, Laboratorul central al Ministerului Industriei Chimiei, ISCIR, ICTCM, Întreprinderea Energo-Montaj, INCERC, Uzinele „23 August", Uz. Vulcan, Uz. „1 Mai" Ploiești, Uz. Reșița, Uz. „Independența"-Sibiu, Uz. „Progresul"-Brăila, Șantierele navale Galați și Oltenița etc.

### 6.2. Aspecte privind aparatura și instalațiile necesare

Aparatura și instalațiile folosite în țara noastră pentru defectoscopia cu raze X și cu raze gama este de diverse tipuri, de proveniență indigenă sau din import.

Dintre aparatele cu raze X amintim următoarele tipuri :

Aparat Roentgen de tip Termotehnica (150 kV) a cărui producție însă a încetat ; aparate „Mobil" M, M1, M2, M3V și aparate „Liliput" 120, 200 și 200 super (R.P.U.); aparate „Seifert", „Eressco" 160, 200 (R.F.G.); aparate „Montix" 160 (C.S.R.); aparate „Andrex" 200 (Danemarca).

Această diversitate de aparate — mai ales fiind procurate din import — denotă că fiecare unitate a acționat separat în funcție de prospectul avut la îndemînă la un moment dat, fără o cunoaștere comparativă a caracteristicilor și performanțelor, fără o coordonare și îndrumare în această direcție. În plus, o greutate imediată care reiese din acest aspect este aceea a procurării pieselor de schimb, a accesoriilor de lucru, a reparării aparatelor. În prezent, multe din aceste aparate nu sînt folosite, deoarece s-au defectat și nu pot fi reparate.

Această situație a fost semnalată și în cadrul discuțiilor purtate în cadrul Comisiei de sudură a Academiei Republicii Socialiste România, fiind sesizată — prin transmiterea de materiale întocmite în acest scop — ministerelor și organelor centrale interesate.

În legătură cu aceasta, este desigur necesar de a se face în mod coordonat, de către specialiști care lucrează în acest domeniu, un studiu comparativ și selectiv în vederea reducerii tipurilor de aparate la cele mai adecvate și eficiente la ora actuală și care să stea la baza avizării importului în acest sector ; de asemenea este necesar de a se înființa o unitate de specialitate pentru repararea și întreținerea curentă a aparaturii de control nedistructiv, la nivel republican (în cadrul M.I.C.M. — care e și principalul beneficiar); în plus, n-ar fi lipsit de interes dacă s-ar începe din nou producerea de aparate Roentgen în țara noastră.

În ce privește gamadefectoscopia, situația este însă cu totul alta. Dacă la început s-au folosit instalații importate din U.R.S.S. (tip GUP) și mai puțin din R.D.G., începînd din 1961 se folosește instalația mobilă concepută, produsă și furnizată diverselor șantiere și uzine din țară de către Institutul de fizică atomică.

Instalația mobilă pentru gamagrafie IFA [34] este utilizabilă atît pentru cercetările de laborator cît și pentru controlul defectoscopic în fabrici și pe șantiere ; caracteristicile diferitelor tipuri produse sînt date în tabela 6.1.

Tipurile 1, 2 și 4 au fost realizate în serie, în funcție de cererile primite.

Rezultatele obținute cu instalațiile I.F.A. atestă că ele pot înlocui cu succes instalațiile similare din străinătate, prezentînd chiar îmbunătățiri ca siguranță în funcționare pentru condiții de șantier și uzină. Instalațiile I.F.A. permit acționarea sursei de radiații de la cel puțin 4 m de conteiner și deplasarea ei pînă la distanța de 16 ... 20 m de la conteiner, acționarea făcîndu-se mecanic. Mobilitatea și transportul ușor le fac apte pentru a fi utilizate cu ușurință și în condiții de șantier.

Ca urmare a faptului că I.F.A. a pus la dispoziția unităților industriale instalațiile de gamagrafie necesare, acordînd și asistență tehnică, în anul 1961 volumul lucrărilor controlate prin gamagrafie a crescut de peste 2,5 ori față de anul 1960, volum care ulterior a

*Tabela 6.1*

| Tipul instalației | Izotopul | Activitatea sursei în c. | Greutatea aprox. în kg | | Domeniu de aplicare pt. oțel (mm) | Sensibilitatea % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Conteiner | Total | | |
| Tipul 1 | $Co^{60}$ | 0,3 | 95 | 132 | 50...70 | 3 |
| Tipul 2 | $Co^{60}$ | 0,6 | 110 | 147 | 70...100 | 2,5 |
| Tipul 3 | $Co^{60}$ | 1 | 135 | 172 | 80...120 | 2 |
| Tipul 4 | $Ir^{192}$ | 5 | 25 | 62 | 10...50 | 2 |

crescut în continuare ; la aceasta mai trebuie adăugat desigur și aspectul privind economia de valută.

In prezent, la Institutul de fizică atomică s-a realizat și prototipul unei instalații de gamadefectoscopie pentru țevi, se fac lucrări de îmbunătățire a actualelor instalații de gamagrafie, precum și cercetări privind metoda și aparatura necesară introducerii în practică a defectoscopiei gama prin ionizare.

Trebuie să menționăm apoi proiectarea și construirea în întregime în țară — tot la IFA — a unui accelerator de electroni — *betatronul* — care a fost pus în funcțiune în 1959 și care pe lîngă celelalte utilizări o are și pe aceea de control defectoscopic prin radiografierea cu radiații foarte dure (30 MeV) a pieselor groase (piese de oțel cu grosimi de 150 . . . 500 mm, la care nu mai sînt utilizabile aparatele Roentgen sau instalațiile de gamagrafie). Deși betatronul IFA nu este destinat exclusiv defectoscopiei industriale, s-a folosit totuși și pentru executarea unor lucrări de radiografiere industrială ; în alte țări (U.R.S.S., S.U.A., C.S.R. etc.) se produc și betatroane mobile specializate pentru defectoscopie.

Nu există la ora actuală în țara noastră preocupări pentru introducerea în producție — și cu atît mai puțin pentru realizarea instalațiilor respective — a metodei cu radiații penetrante prin vizualizare (cu convertizoare electrono-optice și chiar televizare) și prin radiometrie, care permit realizarea controlului continuu, automat ; de asemenea, nici pentru procedeul xerografic.

O instalație pentru controlul continuu, prin vizualizare, din import, există la Fabrica de țevi sudate din București.

### 6.3. Studii și cercetări în domeniul încercărilor nedistructive cu radiații penetrante și valorificarea rezultatelor în producție

Din analiza studiilor și cercetărilor efectuate în ultimul timp în țara noastră — ca o consecință necesară și obiectivă impusă de cerința introducerii pe scară tot mai largă în producție a acestei metode de control nedistructiv al calității produselor — se constată că acestea au abordat aspecte diferite și anume :

— Aspecte legate de utilizarea rațională a metodei în diferite domenii de aplicabilitate [33], [81], [94].

— Aspecte legate de aparatură și dispozitive de lucru, de alegerea surselor de radiații, de tehnica și organizarea controlului, aspecte tratate în lucrările [35], [50], [85], [106]; la Uzinele Vulcan s-a studiat și realizat un dispozitiv pentru controlul cu raze gama a cusăturilor sudate la țevi, cu plasarea sursei în interiorul țevii.

— Prezentarea și interpretarea rezultatelor obținute în urma aplicării în producție a controlului cu radiații penetrante [24], [29], [78], [89], [90], [91].

— Studii și cercetări în legătură cu determinarea și alegerea diferiților parametri ce intervin în fixarea regimului de examinare [41], [51], [74], [75], [76], [87], [88].

— Studii în legătură cu sensibilitatea metodei și calitatea radiografiilor, concretizate în lucrările [14], [16], [42], [58], [83], [92] și la care trebuie menționat în plus studiul

făcut de ISCIR referitor la indicatorii de calitate ai imaginilor radiografice pentru controlul cusăturilor sudate la oțeluri carbon, slab aliate și înalt aliate.

— Studii și cercetări în legătură cu utilizarea de noi procedee în defectoscopia cu radiații penetrante: procedeul ionizării [15]; procedeul solarizării și cel al stereografiei [37], [82], [84]; procedeul aplicării de voal inițial [77].

— Aspecte legate de utilizarea betatronografiei în defectoscopia industrială [18], [19], [86]. In lucrarea [18] se arată — ca urmare a cercetărilor făcute la I.F.A. — particularitățile și posibilitățile betatronografiei, locul și importanța economică a acesteia, dat fiind grosimile mari ce se pot examina, sensibilitatea mare de detectare a defectelor (pînă la 0,5% din grosimea piesei) și timpul scurt de expunere; în lucrarea [19] se prezintă rezultatele obținute privind contrastul, precizia și posibilitățile de detectare a defectelor, la piese groase turnate (elice din alamă pentru nave), în urma experiențelor făcute cu ajutorul betatronului I.F.A.; în lucrarea [86] se dau rezultatele cercetării experimentale asupra folosirii ecranelor intensificatoare în radiografia industrială cu energii înalte (betatron).

— Studii și cercetări comparative între metoda cu radiații penetrante și alte metode de încercări nedistructive [36], [80], [113]. Aceste lucrări sînt rezultatul firesc al faptului că nici una din metodele existente de încercări nedistructive nu s-a putut impune ca exclusivă, fiecare prezentînd avantaje și dezavantaje, concluzia logică — care să respecte probitatea profesională — fiind aceea că ele se completează reciproc, în funcție de cerințele concrete ale controlului.

Un exemplu concludent în acest sens îl reprezintă lucrarea [113] în care se arată necesitatea de a se fi aplicat verificări complexe, cu diferite metode de încercări nedistructive, pentru a se obține o concludență satisfăcătoare în urma controlului efectuat la piesele agregatelor energetice supuse la solicitări mari.

— Elaborarea de prescripții privind aplicarea metodei și criterii de stabilire a calității produselor examinate [144].

Aici este cazul să subliniem aportul pe care l-a adus ISCIR-ul prin elaborarea „Instrucțiunilor tehnice C-20-59 și ulterior C-20-65, pentru stabilirea calității îmbinărilor sudate cap la cap controlate prin radiații X sau gama, la instalații mecanice sub presiune și de ridicat", care au permis utilizarea unei metodologii unitare și a unui limbaj comun în acest sector.

In 1963, în cadrul Ministerului Industriei Petrolului și Chimiei s-a elaborat o normă internă privind controlul calității îmbinărilor sudate cap la cap cu ajutorul radiațiilor gama, iar în 1965 — la ICTCM — s-au elaborat instrucțiuni tehnice pentru utilizarea radiațiilor penetrante la controlul sudurilor, pentru alte produse decît instalațiile sub presiune și de ridicat.

Legat direct de acest aspect, ISCIR a mai elaborat — pe baza lucrărilor efectuate în cadrul laboratorului propriu — o colecție de radiografii de referință (ca anexă la instrucțiunile C-20-65), colecție formată din 45 radiografii cu raze X, 10 radiografii cu raze gama ($Ir^{192}$) și în curs de definitivare 10 radiografii cu raze gama ($Co^{60}$). Meritul acestor radiografii constă în faptul că ele arătînd diferite tipuri de defecte, în concordanță cu clasele de calitate stabilite de instrucțiunile C-20-65, pe baza mărimii și repartiției defectelor, permite compararea (ghid) cu radiografiile executate în producție pentru controlul îmbinărilor sudate și stabilirea calității acestora. Această colecție de radiografii ca și instrucțiunile C-20-65 reprezintă normativ oficial, la nivel republican.

In 1964, laboratorul central al Ministerului Industriei Chimiei a elaborat un album pentru compararea defectelor stabilite prin controlul cu radiații penetrante și controlul ultrasonic, album care se folosește în cadrul ministerului respectiv.

La elaborarea tuturor acestor materiale normative, au fost luate în considerare recomandările I.I.S. date prin diferite documente ale Comisiei a V-a în legătură cu aceste aspecte.

Mai trebuie să menționăm și existența în țara noastră a standardului experimental STS E6606-62 — Controlul cu radiații X și gama a îmbinărilor sudate — care la timpul respectiv a adus un sprijin real pentru cei ce lucrau în acest domeniu, dar care — pentru viitor — dat fiind experiența acumulată pe parcurs, studiile și cercetările noi efectuate în străinătate și în țara noastră, precum și noile documente IIS, a devenit necesar să fie revizuit și completat.

O contribuție în acest domeniu al controlului nedistructiv, conform cu specificul profilului său, a avut și Institutul de documentare tehnică, prin întocmirea de documentații bibliografice pe baza lucrărilor de specialitate apărute [49].

Majoritatea rezultatelor obținute în urma studiilor și cercetărilor efectuate în țara noastră, în domeniul încercărilor nedistructive cu radiații penetrante — sub aspectele arătate anterior — au fost valorificate în producție prin aplicarea în cadrul ministerelor, uzinelor sau laboratoarelor respective. De altfel — așa cum s-a arătat — unele lucrări prezintă chiar studii și interpretări ale rezultatelor obținute direct în producție prin aplicarea controlului cu radiații penetrante.

Se poate constata însă că valorificarea acestor rezultate pe plan republican a lăsat în general de dorit, cauzele reieșind din cele ce se vor arăta în continuare.

O altă constatare ce se poate face este aceea că avem în față un caz tipic în care — dat fiind domeniul nou și foarte recent — a trebuit să se pornească mai întîi la aplicații în producție, pe baza experienței cîștigată în alte țări și — așa cum se arăta anterior — a acțiunii de pionierat dusă de Institutul de fizică atomică ; pe măsura formării în timp a cadrelor de specialitate și a furnizării de către producție a unor probleme care se cereau a fi clarificate și aprofundate, a apărut treptat și activitate de studii și cercetări, activitate dusă însă disparat, în funcție de cerințe locale imediate, de posibilitățile cadrelor și unităților respective.

### 6.4. Unele constatări asupra stadiului actual

Deși pînă în prezent s-au întreprins o serie de studii și cercetări în domeniul încercărilor nedistructive cu radiații penetrante, se poate spune totuși că activitatea de cercetare este rămasă în urmă față de cerințele industriei noastre care, în dezvoltarea sa impetuoasă, ridică tot mai acut și pe un front larg problema controlului și asigurării calității produselor.

Metodele de control nedistructiv sînt utilizate în general fără a avea la bază studii și cercetări sistematice care să permită alegerea soluțiilor optime ca eficiență, sensibilitate și productivitate.

Lucrările efectuate pînă în prezent numai în mică măsură au abordat aspecte fundamentale de generalitate tehnico-științifică sau aspecte privind valorificarea rezultatelor noi obținute în alte țări ; majoritatea acestora tratează aspecte legate de metodologia de control, aspecte particulare, de interes local și fără o extindere a valorificării rezultatelor acestora și în alte întreprinderi.

Aprecierea calității produselor pe baza radiografiilor este încă afectată de o doză de relativ, de subiectivism.

Marea majoritate a lucrărilor elaborate se referă la metoda cu radiații penetrante sau la cea cu ultrasunete, fără a fi atacat în mod corespunzător și alte metode de încercări nedistructive.

La metoda cu radiații penetrante — așa cum s-a arătat — studiile și cercetările respective s-au limitat la procedeul radiografierilor, fără a se fi trecut și la studierea altor procedee și instalații care să permită controlul automat, în flux, al produselor, procedee folosite din ce în ce mai mult în străinătate (pentru controlul continuu al țevilor laminate sau sudate, al tablelor etc.).

Se resimte lipsa unor studii asupra utilizării combinate a metodelor de încercări nedistructive în fluxul tehnologic de fabricație care — după modelul din alte țări — conduce la economii importante, prin oprirea produselor necorespunzătoare între diversele faze tehnologice.

Nu este încă asigurată în mod organizat o legătură între specialiștii respectivi, o cunoaștere mai largă a rezultatelor obținute, schimb de experiență, polarizarea forțelor care lucrează în acest domeniu.

În această direcție, unele rezultate pozitive s-au înregistrat prin organizarea Conferințelor de sudură și încercări de metale de la Timișoara și în cadrul Comisiei de sudură a Academiei Republicii Socialiste România. Este însă de reținut că aceste preocupări trebuie

să aibă un caracter de continuitate și nu numai în legătură cu controlul nedistructiv al sudurilor.

Trebuie de asemenea reținut aspectul privind necesitatea asigurării — la nivel republican — a orientării, îndrumării și coordonării cercetării științifice și în acest domeniu de mare importanță pentru industria noastră și a valorificării rezultatelor cercetării în producție.

Se menționează și faptul că în cadrul M.I.C.M., principalul beneficiar al controlului nedistructiv al produselor, nu există un sector de cercetare în acest domeniu.

Reamintim și unele greutăți semnalate anterior în legătură cu aparatura și instalațiile utilizate în defectoscopia nedistructivă cu radiații penetrante.

Instruirea personalului operator nu este încă suficient de corespunzătoare.

De asemenea — așa cum s-a discutat și opinat în cadrul Comisiei de sudură a Academiei — a devenit necesară și utilă pregătirea în învățămîntul tehnic superior a unor ingineri în specialitatea controlul calității produselor.

*

Ca urmare a acestor constatări — dintre care unele au fost semnalate și în cadrul Comisiei de sudură a Academiei — apar ca necesare unele măsuri care să conducă la o îmbunătățire substanțială a activității de cercetare în acest domeniu. Aceasta cu atît mai mult cu cît cerințele industriei în această direcție vor fi din ce în ce mai mari.

Desigur că prin înființarea Consiliului Național al Cercetării Științifice aceste măsuri vor apare ca o necesitate obiectivă în contextul general al acțiunilor menite să contribuie la dezvoltarea — printr-o orientare, îndrumare, coordonare și eficiență dirijată pe plan republican — a cercetării științifice în țara noastră și în acest domeniu.

## 7. CONCLUZII

### 7.1. Avantajele și dezavantajele metodelor cu radiații penetrante. Domenii de utilizare

Comparînd controlul nedistructiv cu cele două metode — cu raze X și cu raze gama — ceea ce reprezintă avantaje pentru una sînt dezavantaje pentru cealaltă și invers.

*Raportînd metoda cu raze gama la cea cu raze X*, se constată următoarele *avantaje*:

— Investițiile necesare sînt mai reduse, costul aparaturii fiind mult mai mic (de 5÷10 ori) decît al aparatelor Roentgen.

— Instalațiile pentru controlul cu raze gama nu necesită surse de curent electric și nu cuprind circuite electrice supuse defectării. Independența instalațiilor cu raze gama de sursele de curent electric permite lărgirea posibilităților de utilizare a acestora în condiții de teren (controlul conductelor magistrale petroliere, de gaz metan, de apă etc.).

— Instalațiile de gamagrafie au în general un gabarit și greutate mai mică, sînt mai simple și mai robuste, avantajînd transportul și mobilitatea lor pe șantierele de construcții și montaje.

— Dimensiunile reduse ale surselor gama oferă posibilitatea controlului pieselor și instalațiilor greu accesibile sau în spații reduse (conductele suspendate, țevăria fierbătoare la cazanele cu abur, construcțiile metalice la înălțimi, ventile, vane etc.).

— Oferă de asemenea posibilitatea controlului prin iradiere circulară din interiorul recipientelor și conductelor și controlul concomitent al mai multor piese amplasate în jurul sursei, mărind astfel productivitatea.

— Reprezintă surse de radiație continuă, ceea ce permite utilizarea lor în orice moment.

— Exploatarea instalațiilor respective este simplă, frecvența reparațiilor mult mai rară, micșorîndu-se astfel cheltuielile de reparații și întreținere.

— Energia înaltă a radiațiilor gama — ale $Co^{60}$ — permite extinderea controlului nedistructiv la piese din oțel cu grosimi pînă la 100 ... 150 mm.

Ca *dezavantaje* sînt de semnalat:

— Intensitatea mai slabă a radiațiilor în comparație cu razele X, ceea ce se reflectă negativ asupra duratei de expunere.

— Descreșterea activității sursei radioactive în timp, ceea ce duce la mărirea pe parcurs a duratei de expunere și la o anumită inconstanță a regimurilor de gamagrafiere.

— Imposibilitatea de reglare a energiei și intensității radiațiilor, îngrădind astfel posibilitățile de aplicare ale radioizotopului respectiv.

— Pericolul de iradiere a personalului la repararea aparatelor gama, la încărcarea, reîncărcarea și transportarea surselor gama deoarece acestea emit radiații în permanență.

— Absența în prezent a unor surse economice cu energie situată între 100 și 400 KeV și peste 1,25 MeV.

— Creșterea mărimii sursei gama în funcție de activitate conduce la pete focale mari, consecința fiind scăderea sensibilității de detectare a defectelor.

Metoda vizuală nu se poate folosi, în general, cu surse gama, deoarece intensitatea radiațiilor este insuficientă pentru iluminarea ecranelor fluorescente.

*Principalele avantaje ale metodei cu radiații penetrante față de celelalte metode de defectoscopie* constau în: permite determinarea formei și naturii defectului; oferă posibilitatea existenței unui document de control (radiografia); poate detecta defecte interne cu o sensibilitate satisfăcătoare (pînă la 2 ... 1,5%) în diverse materiale (ușoare și grele); se pot examina piese — dacă ne referim la oțel — cu grosimi pînă la 100—150 mm, folosind aparate cu surse gama și aparate cu raze X de 100, 150, 200, 400 kV, 1 și 2 MeV și piese cu grosimi între 150 și 500 mm cu ajutorul betatroanelor; controlul nu este condiționat de starea suprafeței; oferă posibilitatea controlului pieselor și instalațiilor de forme diferite, greu accesibile sau în spații reduse; instalațiile gama nu necesită surse de curent electric. Prin trecerea de la controlul radiografic la controlul radioscopic sau radiometric se poate realiza examinarea continuă, automatizarea controlului, iar prin utilizarea convertizoarelor electrono-optice sensibilitatea de detectare este suficient de înaltă.

Iar *principalele dezavantaje* sînt: costul simțitor mai ridicat, decît la celelalte metode, în cazul radiografierilor; timp necesar pentru examinare mai lung, tot în cazul radiografierilor, deoarece acest aspect nu se pune în cazul examinării cu ajutorul betatronului, cea radioscopică și radiometrică și cea prin xerografie; cost mai ridicat al instalațiilor, în general; nu se pot detecta fisurile cu dimensiuni sub 1,5—2% din grosimea piesei, decît în cazul cînd direcția acestora este apropiată de direcția fasciculului de radiații; dat fiind că se lucrează cu radiații nocive pentru personalul de deservire trebuie luate măsuri de protecție.

Domeniile de utilizare reies din această analiză comparativă a avantajelor și dezavantajelor.

Metoda cu radiații penetrante — după cum s-a arătat — are în prezent utilizarea cea mai largă în țara noastră și în străinătate; se folosește pentru examinarea produselor turnate, laminate, forjate, sudate etc. din fontă, oțel și din metale neferoase, produselor din materiale plastice, betoane și altele, în cadrul limitelor de grosimi și sensibilitate arătate în cadrul referatului, limite impuse de natura și energia radiațiilor.

## 7.2. Concludența încercărilor nedistructive

Metodele de încercări — și în particular cele nedistructive — au cunoscut în ultimii ani o largă dezvoltare și aceasta datorită cerințelor impuse de complexitatea crescîndă a mașinilor moderne. Diminuarea dimensiunilor pieselor, solicitările mult mai ridicate, creșterea vitezelor de lucru, solicitările dinamice ale pieselor care pot duce la ruperi prin oboseală, diminuarea coeficienților de siguranță etc. au impus un mai mare grad de severitate, o exigență mult mai mare în ce privește calitatea. Aceste aspecte și consecințele pe care le poate avea ruperea unei piese în exploatare impun ca absolut necesar utilizarea tuturor metodelor de încercări care ne pot furniza rezultate concludente în privința lipsei de defecte și a asigurării caracteristicilor impuse de exploatare, pentru ca riscul ruperii piesei să fie redus pe cît posibil complet.

Majoritatea metodelor distructive sau semidistructive permit caracterizarea și exprimarea sub o formă cifrabilă a proprietăților esențiale ale produselor, proprietăți considerate ca determinînd calitatea acestora.

Anumite proprietăți însă nu pot fi exprimate sub formă cantitativă. Astfel, spre exemplu, este cazul structurii pieselor pe care o poate pune în evidență examenul microradiografic sau cel al prezenței sau absenței defectelor și anomaliilor care sînt prejudiciabile în timpul exploatării și unde intervine importantul rol al metodelor nedistructive de examinare.

Scopul controlului prin încercări trebuie să fie acela de a menține calitatea la un nivel optim — nici prea scăzut, nici prea ridicat — și anume acela impus de destinația și modul de exploatare a produsului respectiv. Deci în stabilirea volumului de control, alegerea metodelor de control adecvate pentru a avea rezultate cu o concludență corespunzătoare, trebuie ținut seama de acest criteriu de bază. Așadar, înainte de a întreprinde efectuarea controlului, prima problemă care se pune este aceea a fixării nivelului de calitate optim convenabil. Aceasta este însă o problemă destul de dificilă. Proiectanții au tendința de a exagera exigențele lor și ei sînt adesea urmați în acest sens de către controlorii de calitate. Producătorii, din contră, se mulțumesc cu un nivel de calitate mai mic.

Punerea de acord trebuie făcută prin normative sau standarde care să țină seama de avizele specialiștilor, de cerințele utilizării, de performanțele produselor similare pe plan internațional pentru a se putea face față disputei competitive și de considerații economice. Fixarea nivelului calității se traduce prin specificații care precizează caracteristicile dorite și toleranțele acestora în limite care pot fi acceptate. De exemplu nu este just să se prevadă într-un normativ specificația că un anumit oțel nu va conține nici o incluziune sau nici o segregație, atunci cînd se știe bine că toate oțelurile, oricît de înaltă ar fi calitatea lor, conțin totuși incluziuni și segregații; o prevedere realistă poate fi însă aceea ca oțelul respectiv să nu conțină nici o incluziune cu dimensiuni superioare de x mm. Mai mult chiar, specificația va trebui să precizeze care metode de încercări sau de control vor fi folosite și ce rezultate trebuie să dea acestea.

In acest sens, în țara noastră, se poate constata că în prezent există o slabă preocupare pentru standardizarea metodelor nedistructive.

La rîndul său controlul trebuie să aibă un prim rol de preîntîmpinare și reducere la minim a rebuturilor pe parcursul diverselor faze ale procesului de fabricație.

Apoi controlul trebuie să fie cît mai practic, cît mai concludent. După cum s-a arătat, nu totdeauna o metodă de control poate să dea diferite caracteristici ale calității prin rezultate cifrabile. Aprecierea calității depinde adesea de proprietăți care nu sînt măsurabile dar care pot fi la fel de importante pentru concludența calității; în acest caz intervine însă într-un grad mult mai mare experiența, discernămîntul și calitățile morale ale personalului de specialitate care trebuie să interpreteze rezultatele obținute prin acele metode care dau indicații indirecte asupra calității produselor. In acest caz se încadrează și metoda cu radiații penetrante.

Ca urmare a celor arătate anterior, la fixarea metodelor de încercări pentru controlul calității în vederea garantării comportării corespunzătoare în serviciu a unui produs, începînd cu materiile prime pînă la produsul finit, se pune deci problema stabilirii capacității de concludență a diferitelor metode de încercări și a examinării parametrilor care determină această capacitate.

La stabilirea *capacității de concludență* trebuie luate în considerare două elemente [71].

*Identitatea I* a proprietății examinate prin încercări cu aceea care determină comportarea în serviciu a produsului respectiv.

*Univocitatea U*, adică posibilitatea caracterizării univoce a proprietății examinate printr-o cifră cu toleranțe cît mai mici posibile sau printr-un indice de calitate.

Valoarea unei metode de încercare constă în capacitatea sa de concludență, valoare influențată de obiectul încercării, care poate fi construcția în întregime, subansambluri sau piese componente ale acesteia, probe sau epruvete în legătură directă sau indirectă cu construcția.

Incercarea construcțiilor întregi este larg răspîndită și la acest mod de încercare metodele nedistructive — printre care și cea cu radiații penetrante — au o utilizare nelimitată.

Diferența între proprietatea unui produs, determinat izolat prin încercări și proprietatea produsului în cadrul construcției ce trebuie apreciată, poate fi mai mică sau mai mare. De dorit este ca rezultatul unei încercări să fie direct transmisibil asupra funcționării pe care o are construcția în serviciu. Din acest punct de vedere metoda cu radiații penetrante are — în general — avantajul că se poate aplica asupra construcțiilor în serviciu și ca atare ea răspunde din punct de vedere al identității rezultatelor examinării.

Din punctul de vedere al univocității, metodele cantitative — care dau rezultate cifrabile — oferă o obiectivitate mai mare, deoarece rezultatele nu pot fi contestate, iar univocitatea nu este influențată decît de erorile de citire și de dispersie a rezultatelor.

Exemplele au dovedit însă că posibilitatea exprimării în cifre a rezultatelor unei încercări nu trebuie să fie identificată cu o capacitate mai mare de concludență; între încercările pur cantitative și cele pur calitative nu se poate face o delimitare riguroasă.

Uneori o încercare calitativă poate fi transformată în una cantitativă prin utilizarea unor scări de apreciere, așa cum este chiar cazul la metoda cu radiații penetrante cînd se apreciază calitatea produselor în funcție de roentgenografii sau gamagrafii. Rămîne încă prezent — în acest caz — aspectul mai dificil al unei juste interpretări a rezultatelor.

O încercare este cu atît mai concludentă cu cît condițiile în care se face se apropie mai mult de realitate și metoda cu radiații penetrante răspunde acestei cerințe.

Verificarea concludenței unei metode de încercare — mai ales cînd utilizarea sa rațională este legată de alegerea mai multor parametri — necesită din partea specialiștilor frecvente tatonări și studii cu privire la găsirea celei mai potrivite tehnici de încercare; acesta este cazul și pentru metoda cu radiații penetrante.

Analiza capacității de concludență a unei metode de încercări trebuie făcută și în legătură cu economicitatea încercărilor, analiză în care se vor lua în considerare diferiți parametri: cunoștințele profesionale ale operatorului; acomodarea metodei de încercare la posibilitățile existente; volumul rațional al încercărilor; simplificarea economică a încercărilor; evaluarea statistică a rezultatelor.

La metoda cu radiații penetrante — ca și la alte metode nedistructive — trebuie reținut și aspectul că se pretează la automatizarea procesului de control.

Concludența și eficiența încercărilor prin metode nedistructive ridică două aspecte deosebit de importante: justa aplicare și justa interpretare.

Dat fiind evoluția rapidă a tehnicii noi — și legat de aceasta cea a tehnicii încercărilor — cît și dorința lucrătorilor atît din cercetare cît și din exploatare de a introduce aceste metode, este posibilă aplicarea unei metode noi fără o cunoaștere deplină a posibilităților și limitelor ei. Pentru o justă aplicare este absolut necesar însă să se posede o temeinică cunoaștere a performanțelor acestor metode.

Dar chiar dacă acest prim aspect este îndeplinit, mai intervine un al doilea — nu mai puțin important — acela al justei interpretări a rezultatelor. La metodele nedistructive există posibilitatea potențială a unor interpretări false sau a nedetectării unor defecte. De exemplu, s-a arătat anterior că metoda cu radiații penetrante este mai puțin sensibilă la detectarea fisurilor. S-a arătat apoi că printre diferiții factori care trebuie luați în considerare la stabilirea capacității de concludență a unei metode este și acela al cunoștințelor profesionale, al experienței cîștigată de specialiștii respectivi în aplicarea și interpretarea justă a rezultatelor încercărilor. Ei trebuie să cunoască erorile inerente metodei de încercare și consecințele acestora; să cunoască de asemenea cît mai precis cauzele și efectele diferitelor defecte detectate. Să cunoască apoi că la diferite faze de exploatare anumite defecte se pot agrava sau pot să apară noi defecte. De exemplu, forjarea — prin deformări repetate — modifică starea materialului turnat sau laminat; prelucrarea prin așchiere, îmbinarea prin sudare etc. modifică starea materialului laminat, forjat sau turnat; exploatarea poate interveni prin vibrații, fenomene de oboseală, șocuri etc. care să agraveze efectele anumitor defecte.

În ce privește metoda radiografică, pe plan internațional (v. lucrările Comisiei V-I.I.S. la Adunarea anuală de la Delft, 1966) se pune tot mai acut necesitatea efectuării de lucrări care să conducă la criterii cantitative de acceptare, respectiv a se ajunge la o corelare între

defectele detectate prin radiografiere și efectul lor asupra rezistenței pieselor respective, efect stabilit pe bază de încercări mecanice.

Concludența încercărilor prin metode nedistructive face apoi necesară luarea în considerare a următoarelor aspecte : cunoașterea comparativă și utilizarea combinată a acestor metode ; dispersia și evaluarea statistică a rezultatelor.

### 7.2.1. *Cunoașterea comparativă și utilizarea combinată a metodelor de încercări*

Cunoașterea comparativă a metodelor de încercări este necesară deoarece diferitele aspecte ale controlului calității produselor ridicate de producție reclamă prezența tuturor metodelor nedistructive, dar printr-o aplicare diferențiată în funcție de posibilitățile și performanțele fiecăreia. Mai mult chiar, în marile uzine există și laboratoare pentru încercări distructive sau semidistructive (mecanice, chimice, metalografice).

De asemenea, această cunoaștere se impune și prin faptul că nici una din aceste metode nu s-a putut impune cu o aplicabilitate universală, ci dimpotrivă ele se completează reciproc.

In multe cazuri, numai utilizarea combinată a diferitelor metode nedistructive dă satisfacție — prin prisma concludenței — mai ales în situația unei producții variate. De exemplu, fisurile — datorită dimensiunilor lor mici și formelor neregulate — conduc la dificultăți în detectarea lor. In aceste cazuri, metoda cu radiații penetrante trebuie să fie dublată de cea magnetică sau de cea cu lichide penetrante. De asemenea, în multe cazuri metoda ultrasonică prin impulsuri se folosește pentru controlul global, de mare serie și rapid, fiind completată cu precizările date de metoda cu radiații penetrante.

Subliniem din nou acest aspect al utilizării combinate și al completării reciproce a metodelor de încercări nedistructive — aspect care a reieșit și din lucrările celei de a V-a Conferințe de sudură și încercări de metale de la Timișoara (1965) — deoarece unii cercetători sau experimentatori au tendința de a supraestima posibilitățile unei singure metode, a aceleia în care s-au specializat sau pe care o aplică frecvent. Un exemplu convingător al necesității aplicării combinate a mai multor metode nedistructive și chiar distructive, pentru a avea o concludență satisfăcătoare a rezultatelor, îl reprezintă lucrarea [113].

### 7.2.2. *Dispersia și evaluarea statistică a rezultatelor*

Evaluarea statistică apare ca necesară datorită dispersiei rezultatelor obținute în urma încercărilor.

Dispersia se datorește fenomenelor fizico-chimice inerente procesului tehnologic respectiv, parametrilor care influențează acest proces și metodei de încercare însăși. Aparatele cu care se lucrează introduc și ele erori. Operatorul — la rîndul său — poate face erori de citire, de calcul sau de apreciere a rezultatelor.

Atunci cînd o încercare se repetă obținînd aceleași rezultate sau rezultate apropiate, definirea caracteristicei pe care dorim s-o cunoaștem se face cu o certitudine mărită. La o singură încercare, întîmplarea (hazardul) joacă un rol mare. Dialectic se știe că necesitatea statistică își croiește drum, rezultă din multitudinea întîmplărilor.

Evaluarea statistică a rezultatelor încercărilor prin care se definește uniformitatea calitativă a unui produs cere numeroase încercări experimentale și conduce la o reprezentare grafică a curbelor de dispersii (curbe de frecvență a rezultatelor). Calitatea este definită de valoarea cea mai frecventă și de mărimea dispersiei (cu cît mărimea dispersiei este mai mică cu atît calitatea este mai bună). Dispersia rezultatelor se constată nu numai la încercările pur cantitative (cu exprimări cifrice) ci și la cele calitative. La toate metodele de încercări nedistructive rezultatele se exprimă prin calificative de calitate, similar cu încercările tehnologice.

Un exemplu de evaluare statistică a rezultatelor în cazul metodei cu radiații penetrante îl prezintă lucrările [24], [118].

De altfel, la metoda care face obiectul prezentului referat, însăși radiațiile electromagnetice — fenomenul fizic ce stă la baza acestei metode — sînt caracterizate printr-o legitate statistică.

*
* *

În concluzie, controlul calității produselor, detectarea defectelor, cercetarea cauzelor care produc diferite defecte, sau efectele pe care le pot produce acestea în exploatare, capacitatea de concludență și eficiența încercărilor depinde de cunoașterea caracteristicilor de rezistență a materialului, a tehnologiei de fabricație, a defectelor specifice tehnologiei respective, a geometriei și soluționării constructive, a condițiilor de utilizare, a posibilităților, limitelor, avantajelor și dezavantajelor fiecărei metode de încercare etc. Toate acestea reclamă necesitatea efectuării de studii și cercetări sistematice și aprofundate, orientate către aspectele esențiale ale fiecărei metode în parte.

Încercările de materiale sînt utile nu numai pentru asigurarea calității produselor dar și ca un sprijin prețios pentru *cercetările fundamentale* asupra diferitelor metode de încercări însăși sau în domenii în care se impune cunoașterea proprietăților și caracteristicilor materialelor.

Cercetările fundamentale, atît prin însăși legile interne de dezvoltare ale științei cît și prin legătura organică a științei cu practica, depind de evoluția metodelor de măsură și control, iar la rîndul lor impulsionează noi cuceriri ale acestor metode (sensibilitate, eficacitate, productivitate, automatizare, noi procedee de examinare etc.).

## BIBLIOGRAFIE


1. Aglinţev, K. K. (1955): *Osnovî dozimetrii ioniziruiuscih izlucenii*, Medghiz.
2. Becker, E. (1963): Die Bestimmung der Unschärfen radiographischer Aufnahmen, *Wissensch. Zeitschrift*, Magdeburg, *3.*
3. Becker, E., Forsprach, F. (1963): Eine einfache Methode zur Bestimmung von Bleigleichwerten, *Kernenergie, 9.*
4. Becker, E. (1963): Die Verstärkerwirkung von Bleifolien bei Filmaufnahmen mit Gamma-Strahlenquellen, *Wissensch. Zeitschrift*, Magdeburg, *6.*
5. Becker, E. (1964): Der Einfluss der Unschärfen auf Filmaufnahmen mit Gamma-Strahlenquellen, *Materialprüfung, 6.*
6. Becker, E. (1963): Gebräuchliche radioaktive Strahlquellen zur Grobstrukturuntersuchung, *Die Technik, 12.*
7. Becker, E. (1962): Folii de amplificare din plumb și claritatea imaginilor. *A IV-a Conf. de sudură și încercări de metale*, vol. III/1, Timișoara.
8. Becker, E., Vorsprach, F. (1965): Cercetări nedistructive ale șinelor sudate alumino-termic, *Comunicările celei de-a V-a Conf. de sudură și încerc. de metale*, Timișoara.
9. Becker, I. (1965): Principii noi ale metodei de control prin sondaj în radiografie. *Com. celei de-a V-a Conf. de sudură și încerc. de metale* Timișoara.
10. Berger, H., Pace, L. A. (1957): Performanțele unui sistem de televiziune pentru controlul cu raze X, *Nondestructive Testing*, 1.
11. Berger, G. (1963): Defectoscopia cu neutroni, *Tehnica Nucleară*, 8.
12. Blondel, A. (1959): *Le contrôle non destructif par gammagraphie*, Paris.
13. Bly, H. J. (1964): High Energy Radiography 1—30 MEV, *Materials Evaluation, 11.*
14. Bratu, Gh., Florican, P. (1963): Calculul defectului minim prin metoda gamagrafiei, *Tehnica Nucleară, 10.*
15. Brînzan, C., Florican, P. (1965): Controlul nedistructiv cu radiații gama prin metoda ionizării, *Tehnica Nucleară, 11.*
16. Brînzan, C., Florican, P. (1964): Corelații între dimensiunile sursei, distanța focală și imaginea defectului pe film în gamagrafie, *Tehnica Nucleară, 8.*

17. Ciorăscu, F., Oncescu, M. (1964): *Detectarea și măsurarea radiațiilor nucleare*, Ed. Academiei R.P.R.
18. Ciorăscu, F., Iliescu, C. (1963): Folosirea betatronului în defectoscopia industrială, vol. *Tehnica nucleară în sprijinul producției*, Ed. Academiei R.P.R.
19. Ciucă, C., Manolache, M., Drugescu E. (1966): Cercetări privind aplicarea gamadefectoscopiei la controlul pieselor turnate, *Tehnica Nucleară, 1.*
20. Cernobrovov, V. S. (1961): Metodele de calcul al materialelor cu raxe X și gama. Din vol. I *Construcția de aparate și mijloace de automatizare a controlului*, Moscova.
21. Cook, G. W. (1957): Încercările nedistructive și inginerul din producție, *Nondestructive Testing, 1.*
22. O'Connor, D. T., Criscuolo, E. L. (1955): *Nondestr. Testing, 6.*
23. Colombier, L. (1964): *Le contrôle de la fabrication et de la qualité en métallurgie*, Ed. Rec. de metallurgie, Paris.
24. Constantinescu, N. (1965): Interpretarea statistică a rezultatului controlului cu radiații gama la o construcție sudată, *Com. celei de-a V-a Conf. de sudură și înc. de metale*, Timișoara.
25. Criscuolo, E. L., Polansky, D. (1956): *Nondestr. Testing, 1,* 1 (1954).
26. Dyke, W. P., Grundhauser, F. J. (1965): A New Cineradiographie System, *Materials Evaluation, 4.*
27. Dutli, J. W., Tenney, G. H. (1950): *Nondestr. Testing, 3, 9.*
28. Dutli, J. W., Taylor, G. M. (1954): *Nondestr. Testing, 2.*
29. Echim, I., Leahu, D. (1962): Verificarea îmbinărilor sudate cu ajutorul radiațiilor gama. *Experiența Întrepr. de montaje, București.*
30. Eger, R. (1961): *Dozimetria i zascita ot izbuscenii*, Gosatomizdat, Moskva.
31. Fano, U., Spencer, V. L., Berger, I. M. (1959): *Handbuch der Phys.*, Berlin, Göttingen.
32. Farmer, P. (1956): *Aircraft Prod., 1.*
33. Florican, P., Bratu, G. (1963): Gamagrafia, vol. *Tehnica nucleară în sprijinul producției*, Ed. Acad. R.P.R.
34. Florican, P., Olteanu, I. (1962): Instalație mobilă pentru gamadefectoscopie tip IFA, *A IV-a Conf. de sudură și încercări de metale*, vol. II/1, Timișoara.
35. Forje, A. (1962): Organizarea controlului sudurilor prin metode nedistructive, *A IV-a Conf. de sudură și încercări de metale*, vol. II/4, Timișoara.
36. Forje, A. și colab. (1965): Studiu comparativ și problemele ridicate de eventualitatea înlocuirii controlului sudurilor cu radiații nucleare prin control cu ultrasunete și magnetografie, *Com. celei de-a V-a Conf. de sudură și înc. de metale*, Timișoara.
37. Forje, A., Scriparu, T., Crețu, Z. (1965): Folosirea efectelor de solarizare și sterografie în radiografierea cu mare putere rezolutivă, *Tehnica nucleară, 8.*
38. Freyer, G., Becker, E. (1964): Uber den Einfluss von schmalen und breiten Strahlenbündeln bei Absorptionsmessungen mit Gammastrahlen. *Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Hochschule*, Magdeburg, 2.
39. Freyer, G., Günther, A. (1961): *Gamma-Defektoskopie*, Leipzig.
40. Freyer, G., Becker, E., Fritz, P. (1964): Zur Anwendung von Röntgenbildverstärkern in der Grobstruktur-Materialprüfung, *Wissensch. Zeitschrift*, Magdeburg, *2.*
41. Ganovici, I., Popa, V. (1964): Nomograme de expunere în gamadefectoscopie, *Tehnica nucleară, 3* și 4/1964.
42. Ganovici, I., Ganovici, L. (1964): Sensibilitatea metodei de control prin fluoroscopie, *Tehnica Nucleară, 6.*
43. Glosker, R. (1958): *Materialprüfung mit Röntgenstrahlen*, Springer-Verlag, Berlin-Göttingen.
44. Gobus, L. A. (1957): Electronic Fluoroscopy with Image Intensification, *The Journal of the Society for Nondestructive Testing, 2.*
45. McGonnagle, J. W. (1961): *Nondestructive Testing*, McGraw-Hill Book Company, New York.

46. Grodstein, W. G. (1957): *X-ray Attenuation Coefficients from 10 KeV to 100 MeV*, U.S. Government Printing Office, Washington,
47. Hampe, W. R. (1956): *Nondestr. Testing, 1.*
48. Hüschfield, J. J., O'Connor, D. (1953): *Nondestr. Testing, 4.*
49. * * * I.D.T. (1962): *Metode și aparate pentru controlul nedistructiv al metalelor*, București.
50. Ionescu, G., Ionescu, E. (1964): Caracteristicile principalilor izotopi radioactivi folosiți în aplicații industriale, *Tehnica Nucleară, 12.*
51. Ivanov, I., Ilieș, F. (1965): Determinarea coeficientului de atenuare liniară în beton a radiației gama emise de Co-60, *Tehnica Nucleară, 5.*
52. Kalbfleisch, J., Nouvet, A. Etude sensitométrique des emulsions employées en gammagraphie de l'acier, III-Doc. V—185—61.
53. Kleint, R. E., Hagemaier, D. J. (1965): Relationship of Standards ans Specifications to Nondestructive Testing, *Materials Evaluation, 8.*
54. Kornișin, K. I. (1958): *Novîie metodî polucenia izobrajenia prin rentgenovskoi-defectoskopii*, Moskva.
55. Kruger, J., Werk, S. A., Master Mc (1955): *Nondestr. Testing, 6.*
56. Krzeszewski, R., Marcinkowski, J. (1963): Controlul în serie al pistoanelor de fontă cu ajutorul cobaltului radioactiv. *Tehnica Nucleară, 9.*
57. Lamble, H. J. (1962): *Principles and practice of nondestructive testing*, Haywood and Co, London.
58. Leibovici, I. (1964): Indicatori de calitate ai imaginii în radiografia și gamagrafia industrială, *Tehnica Nucleară, 8.*
59. De Leiris, H., Antoni, E. (1957): Recherches par voie sensitométrique des conditions d'emploi optimum des sources radioactives en gammagraphie de l'acier, *Soudage et Techniques Connexes, 3—4,* IIS-Doc. V—39—57.
60. Malzew, W. M. (1955): *Röntgenographie der Metalle*, V.E.B., Verlag Technik, Berlin.
61. McMaster, C. R. (1951): *Nondestructive Testing Handbook*, vol. I, New York.
62. McMaster (1951): *Nondestr. Testing, 1.*
63. Morse, C. (1956): *Nondestr. Testing, 2.*
64. Morrison, A., Perry, J. (1950): *Nondestructive Testing, 9.*
65. Müller, A. E. (1960): *Handbuch der zerstörungsfreien Materialprüfung*, München.
66. Mundry, E., Back, W. (1964): In legătură cu relația dintre calitatea imaginii și densitatea filmului la defectoscopia cu radiații X și gama, *Materialprüfung, 8.*
67. Nazarov, T. S. și colab. (1964): *Defectoscopia nedistructivă a materialelor*, Ed. Tehnică.
68. Nazarov, T. S. (1950): Vîbor energii gamma-*Izlucenia, 3, 9.*
69. Nazarov, T. S. (1950): *Kontrolî Kacestva svarnîh soedinenii*, Mașghiz.
70. Nazarov, T. S., Goriaceva, K. G. (1955): Sb. statei *Gamma-defektoskopia metallov*, AN. SSSR.
71. Nădășan, Șt. și colab. (1965): *Încercări și analize de metale*, Ed. Tehnică.
72. Nădășan, Șt. (1958): Încercări pentru controlul îmbinărilor sudate. *Metalurgia și constr. de mașini.*
73. Nădășan, Șt., Boleanțu, L. (1965): *Studii și cercetări de rezistență și încercări de materiale* (1923—1965). Ed. didactică și pedagogică.
74. Năstase, Gr. M. (1962): Asupra parametrilor optimi în defectoscopia cu raze X și gama, *SCMA, 2.*
75. Năstase, Gr. M., Vidan, M. (1964): Variația coeficienților de absorbție la razele X, în funcție de grosimea materialului absorbant, *SCMA, 3.*
76. Năstase, Gr. M. (1966): Unele rezultate privind coeficienții de absorbție în defectoscopia nedistructivă prin gamagrafie, *Tehnica Nucleară, 4.*
77. Năstase, Gr. M. (1965): Influența voalului inițial în defectoscopia nedistructivă a materialelor prin radiografiere, *Com. Sesiunii șt. a Inst. politehnic București.*
78. Năstase, Gr. M. (1963): Unele aspecte privind controlul defectoscopic nedistructiv al bielelor de tractor prin gamagrafie. *Construcția de mașini, 11.*
79. Neifeld, I. E. (1964): *Controlul calității sudurilor conductelor magistrale prin metode radiometrice*, Moscova, Nedra.

80. Nemeș, A., Atanasescu, T., Doniga, N. (1965): Rezultate obținute în controlul nedistructiv al îmbinărilor sudate ca la cap, prin folosirea metodei radiațiilor penetrante (X și gama) și a metodei ultrasonice. *Com. celei de-a V-a Conf.* de sudură și înc. de metale, Timișoara.
81. Oprendek, A. (1962): Utilizarea rațională și economică a metodelor de control nedistructiv în tehnica sudării, *A IV-a Conf. de sudură și încerc. de metale*, vol. II/1, Timișoara.
82. Oprendek, A. (1964): Cu privire la unele probleme de stereoradiografie, *Tehnica Nucleară, 2.*
83. Oprendek, A. (1964): Corelații între calitatea radiografiilor și factorii de proiecție, *Tehnica Nucleară, 8.*
84. Oprendek, A. (1964): Folosirea controlului radiologic combinat în tehnica sudării, *Tehnica Nucleară, 10.*
85. Oprendek, A. (1963): Considerații privitoare la calculul compensatoarelor pentru controlul radiologic, *Tehnica Nucleară, 9.*
86. Panaitescu, I. (1965): Folosirea ecranelor intensificatoare în radiografia industrială cu energii înalte, *Tehnica Nucleară, 12.*
87. Popa, V. (1965): Rezolvarea grafică a unor probleme de geometrie a expunerii în radiografia industrială, *Tehnica Nucleară, 1.*
88. Popa, V. (1963): Timpul de expunere în gamagrafie, *Tehnica Nucleară, 5.*
89. Popa, V. (1963): Gamagrafia cusăturilor sudate executate la conducte de diametre mici, *Tehnica Nucleară, 2.*
90. Popa, V. (1964): Rezultate ale utilizării izotopului radioactiv Ir-192 la controlul sudurilor metalice, *Tehnica Nucleară, 1.*
91. Popa, V. (1963): Cauze care determină rebutarea gamagrafiilor în industrie, *Tehnica Nucleară, 2.*
92. Popa, V. (1963): Asupra sensibilității metodelor gamagrafice, *Tehnica Nucleară, 11.*
93. Poroikov, I. V. (1950): *Rentgenometria*, GITTL.
94. Preda, G. M. (1962): *Utilizarea izotopilor radioactivi în construcția de mașini*, Ed. Tehnică.
95. Raiskii, M. S., Smirnov, F. N. (1956): *Fizicieskie Osnovî metoda radioactivnîh indicatorov*, Moskva.
96. Rumiantev, V. S. (1960): *Primenenie radioactivnîh izotopov i defectoscopii*, Atomizdat, Moskva.
97. Runiantev, S. V. (1951): *Zavodek Laboratoria, 8.*
98. Rumiantev, S. V. (1958): *AN SSSR.*
99. Samohvalov, A. A., Fakidov, I. G. (1955): *AN. SSSR.*
100. Schiebold, E., Becker, E., Vorsprach, F. (1961): Thulium-170 in der Gamma-Defektoskopie, *Wissensch. Zeitschrift*, Magdeburg, *12.*
101. Schittenhelm, R., Bohn, J. H. (1964): Experiences with a Transportable 18 MeV Betatron for Nondestructive Testing, *Materials Evaluation, 6.*
102. Slaba, J. (1962): Gradul de detectare a defectelor cu ajutorul betatronului, *A IV-a Conf. de sudură și încercări de metale*, vol. II/1, Timișoara.
103. Standford, G. E., Fearon, H. J. (1962—1964): *Progress in Nondestructive Testing*, 3 vol., Haywood Co, London.
104. Sur, B. L. (1964): *Alegerea regimului de radioscopie roentgen a metalelor*, Moscova, Mașinostroenia.
105. * * * (1959): *Symposium on Radioisotopes in Metals Analysis and Testing*, American Society for Testing Materials.
106. Șandru, P. (1964): Tematica, organizarea și proiectarea unui laborator complex de defectoscopie, *Tehnica Nuclaeră, 6.*
107. Schorr, M G. (1955): *Nondestr. Testing, 6.*
108. Tatocenko, I. K., Medvediev, S. V. (1956): *Aplicațiile defectoscopiei cu raze gama în industrie*, Ed. Tehnică.
109. * * * (1963): *The 5-th Japan Conference on Radioisotopes*, Tokio.
110. Trapeznikov, A. K. (1948): *Rentgenodefectoskopia*, Mașghiz.

111. Tripa, M., Harnagea, G. (1965): Determinarea eforturilor unitare cu ajutorul razelor roentgen, *Com. celei de-a V-a Conf. de sudură și înc. de metale*, Timișoara.

112. Uşakov, N. V. (1955): *Primenenie pronikaiuscih izlucenii pri kontrole aviationnoi tehnicki.*

113. Vilan, M., Felberg, R. (1965): Verificări complexe efectuate la piesele agregatelor energetice supuse la solicitări mari. *Com. celei de-a V-a Conf. de sudură și înc. de metale*, Timișoara.

114. Wolf, R. V., Wolf, K. (1954): *Nondestr. Testing, 1.*

115. I.I.S. (1961): *Manuel sur l'appareillage et les techniques de radiographie*, Paris.

116. I.I.S. *Doc. V-32-57.* Recommandations regarding the preparation of rules for qualification of welders.

117. I.I.S. *Doc. V-6-57.* Recommandations concernant la pratique de l'examen radiographique de joints soudés par fusion en tôles d'acier jusqu'à 50 mm.

118. I.I.S. *Doc. V-64-58.* Application of statistical methods for determining the Exposure Formula in Gammagraphy.

119. I.I.S. *Doc. V-6-58.* Ettalonage des postes à rayons X.

120. I.I.S. *Doc. V-103-59.* La mise en oeuvre pratique de l'indicateur de qualité d'image normalisé, utilisé en radiographie (Chanty G.).

121. I.I.S. *Doc. V-115-59.* Pratiques récommandée pour l'examen aux rayons X des joints soudés par fusion sur aluminium et ses alliages et magnésium et ses alliages, d'épaisseurs inférieures à 50 mm.

122. I.I.S. *Doc. V-116-59.* Liste des défauts devant figurer dans la collection de radiographie types des soudures sur alliages legers.

123. I.I.S. *Doc. V-113-59.* Recomanded practice for the radiographic inspection of circumferential fusion weded butt joints in steel pipes up to 2 inches wall thickness (50 mm).

124. I.I.S. *Doc. V-111-59.* Norme polonaise. Soudage. Principes d'appréciation de défauts des soudures d'après les radiographies.

125. I.I.S. *Doc. V-139-60.* Projet de recommandation concernant les indicateurs de qualité d'image radiographique.

126. I.I.S. *Doc. V-150-60.* Quelques aspects du contrôle radiographique et du contrôle par ultrasons en France (Bastien P., Evrard M., d'Hebermont G.).

127. I.I.S. *Doc. V-145-60.* The quality of radiographic inspection (D. T. O'Connor, E. L. Criscuolo).

128. I.I.S. *Doc. V-166-60.* Le contrôle et l'essai des matériaux resinaux et de leurs soudures (matières plastiques).

129. I.I.S. *Doc. V-201-61.* Note d'information à l'ISO/TC 11 concernant les valeurs provisoires de qualité d'image exigibles en radiographie de réservoirs à pression en acier d'épaisseur inférieure à 200 mm.

130. I.I.S. *Doc. V-176-61,* (Doc. V-119-59). Rapport sur l'etalonage des films radiographiques.

131. I.I.S. *Doc. V-180-61.* Calibration of X-ray equipments.

132. I.I.S. *Doc. V-208-62.* Etude de la qualité d'image des emulssions employées en gammagraphie de l'acier (Kalbfleisch J., Nouvet A.).

133. I.I.S. *Doc. V-210-62.* Radiographie technique for maximum sensitivity.

134. I.I.S. *Doc. V-211-62.* Recommanded practice for radiographic inspection of fusion welded joints in steel plates from 50 to 200 mm thickness.

135. I.I.S. *Doc. V-239-63.* Projet de reglementation pour la determination des dimensions des foyers optiques.

136. I.I.S. *Doc. V-242-63.* Projet de recommandation concernant les essais sensitométriques des films radiographiques sans ecran ou avec ecran de plomb.

137. I.I.S. *Doc. V-263-64.* Criteres d'acceptation des soudures.
138. I.I.S. *Doc. V-259-64.* Regles de lecture des I.Q.I. dont l'usage a été récommandé par la Commission V.
139. I.I.S. *Doc. V-260-64.* Classification des films utilisés dans le contrôle radiographique.
140. I.I.S. *Doc. V-269-64.* Collection de radiographies de reference de soudures sur alliages legers.
141. I.I.S. *Doc. V-200-65.* La detection des fissures fines par radiographie.
142. I.I.S. *Doc. V-288-65.* Etude de la qualité d'image en gammagraphie à l'aide de l'indicateur normalisé français à gradins percés (Charlet G.).
143. I.I.S. *Doc. V-332-66.* The significance of defects in welds.
144. *D.G.M.S.I.-ISCIR.* Instrucțiunile tehnice C-20-65 pentru stabilirea calității îmbinărilor sudate la cap, controlate cu radiații X și gama, la instalații mecanice sub presiune și de ridicat.
145. * * * *Colecția STAS.* Incercările metalelor.

*Manuscris primit în mai, 1967*

# ALIAJE CONSOLIDATE PRIN FAZĂ DISPERSĂ STABILĂ

A. MARIAN
*Institutul de fizică atomică, București*

## I. INTRODUCERE

Lucrarea de față își propune să prezinte o clasă de materiale al căror studiu sistematic și aprofundat, început relativ recent pe plan mondial (5—10 ani), a fost determinat de importanța pe care o prezintă aceste materiale pentru înțelegerea fenomenelor care au loc la deformarea metalelor, precum și de importanța lor practică pentru elaborarea materialelor care își păstrează rezistența mecanică la temperaturi înalte.

Dacă discutarea acestor materiale trebuie să înceapă cu definirea lor, atunci se întîmpină dificultăți încă de la început, deoarece o parte din cercetătorii ce lucrează în acest domeniu înțeleg prin materiale consolidate prin fază dispersă, materialele alcătuite dintr-o matrice metalică (metal pur sau soluție solidă) în care este fin dispersată o fază secundară oxidică, — pe cînd alți cercetători consideră că faza secundară poate fi alcătuită și din alți compuși cum ar fi compuși intermetalici, carburi, nitruri, boruri etc. [1].

La temperaturi joase, între materialele enumerate mai sus nu se poate face nici-o diferențiere în comportarea dislocațiilor față de particulele fazei secundare disperse. Chiar și în cazul particulelor de compuși intermetalici sau carburi, obținute spre exemplu prin precipitare în fază solidă, în care caz un rol important îl joacă tensiunile de coerență a fazei secundare cu matricea, se poate considera diametrul efectiv al particulei de fază dispersă mai mare ca cel real și problema se poate trata ca în cazul particulelor necoerente.

Cu ridicarea temperaturii însă, apare o diferențiere importantă de comportare a diferitelor faze secundare amintite și anume ele se pot dizolva în matricea metalică sau se pot păstra în forma inițială pînă la temperatura de topire a matricei.

Deoarece această clasă de materiale a fost dezvoltată în scopul folosirii lor la temperaturi înalte, este important ca faza dispersă să fie stabilă la temperaturi înalte. Din acest motiv autorul își permite să propună pentru folosire noțiunea de: „Aliaje consolidate prin fază dispersă stabilă" înțelegînd prin aceasta orice aliaj alcătuit dintr-o matrice metalică (metal pur sau soluție solidă) ce conține o fază secundară dispersă (indiferent de natura ei) care este practic stabilă pînă la temperatura de topire a matricei.

De foarte multe ori pentru aceste aliaje se folosește termenul „aliaje durificate". Deoarece caracteristica urmărită la ele este rezistența mecanică la temperaturi înalte, durificarea fiind un efect secundar, autorul consideră mai practic termenul de aliaje „consolidate".

## II. OBȚINEREA ALIAJELOR CONSOLIDATE PRIN FAZĂ DISPERSĂ STABILĂ

Lucrările mai vechi sau mai recente din acest domeniu au demonstrat definitiv că metalurgia pulberilor este procedeul predominant de obținere a acestor materiale [1], [2].

Drept matrice au fost studiate pînă în prezent peste 25 de metale (pure sau sub formă de aliaje) dintre care, în ordinea ponderei ca număr de lucrări publicate, fac parte: Al, Cu,

Ni, Fe, Co, Ag, Pt, Mg. Ca fază secundară dispersă au fost studiați peste 30 de oxizi; $Al_2O_3$ fiind cel mai des folosit (în peste 100 lucrări), oxizi de Th, Si, Zr, carburi de Fe, Ti, W, Zr, compuși intermetalici etc.

Obținerea aliajelor consolidate prin fază dispersă stabilă prin amestecarea directă a unei pulberi fine de fază secundară într-un metal lichid ar avea mari avantaje economice dar este practic imposibil de realizat din cauza diferențelor de densitate dar mai ales pentru că filmele de gaze adsorbite la suprafața particulelor fazei disperse reduc simțitor udabilitatea fazei disperse de către metalul lichid. Singura metodă de obținere din fază lichidă folosită pînă în prezent este metoda imaginată de Huggins [3]. Metoda constă în topirea zonară a unei bare de aliaj Ni-Al într-o atmosferă de oxigen, ceea ce face ca în zona lichidă, datorită vitezei de difuzie mari, să aibă loc o oxidare internă rapidă a aluminiului și să se obțină în final o dispersie fină și uniformă de $Al_2O_3$ în Ni.

Metodele cele mai des folosite sînt însă cele de obținere a dispersiei în fază solidă și care pot fi clasificate astfel :

1. *Metode bazate pe reacții de oxidare*, cu două variante :

a) Oxidarea internă, în care caz, într-un aliaj care conține un component ce formează un oxid cu energie de formare mai mare ca al celorlalți, prin difuzia convenabilă a oxigenului se poate forma o fază secundară dispersă fără oxidarea matricei. Numărul sistemelor de aliaje la care se poate aplica această tehnică a oxidării selective este limitat, iar fracția volumetrică a fazei secundare este în general redusă [4];

b) Oxidarea superficială a pulberilor metalice, constă în obținerea dispersiei sub forma filmelor de oxid formate pe suprafața particulelor de pulbere. În timpul elaborării corpurilor compacte din aceste pulberi, particulele de oxid sînt uniform dispersate în matricea metalului de bază.

Această metodă aplicată la aluminiu a dus la obținerea industrială a unor aliaje termorezistente cunoscute sub denumirea de SAP (Sintered Aluminiu Powder), aliaje cărora le datorăm în mare măsură interesul actual pentru mecanismele de consolidare prin fază dispersă stabilă [5].

2. *Metodele bazate pe reducerea oxizilor.* Dacă o masă de oxizi (sub formă de amestec mecanic sau soluție solidă obținută la temperaturi ridicate), în care unul dintre oxizi are o energie de formare mult mai mare ca ceilalți, este supusă reducerii cu hidrogen atunci produsul final va fi o matrice metalică ce conține ca fază secundară dispersă oxidul stabil. Această tehnică a fost puțin studiată, dificultatea principală constînd în necesitatea de a elimina produsele reducerii, ceea ce poate afecta calitatea materialelor astfel obținute [6].

3. *Metode mecanice bazate pe amestecarea constituenților.* Aceste metode se încadrează în întregime în tehnologia clasică a metalurgiei pulberilor, adică amestecarea și omogenizarea în mori amestecătoare, comprimarea, sinterizarea, presarea la cald și în special extruderea [1]. Marele avantaj al acestei tehnici constă în operațiile relativ simple și bine stabilite precum și în marea varietate de combinații posibile de matrice și dispersii. Amestecarea mecanică împreună cu oxidarea superficială formează obiectul a peste $^2/_3$ din lucrările publicate. Dezavantajul metodei constă în faptul că pe această cale nu se pot obține dispersii foarte fine iar uniformitatea dispersiei lasă de dorit uneori.

## III. PROPRIETĂȚILE ALIAJELOR CONSOLIDATE PRIN FAZĂ DISPERSĂ STABILĂ

Aliajele consolidate prin fază dispersă stabilă au cîștigat un interes considerabil datorită posibilității folosirii lor la temperaturi înalte și în tehnica nucleară [2]. Importanța lor se datorește cîtorva calități proprii acestor materiale : Ele au limită de curgere ridicată.

Prezintă şi păstrează un grad mare de ecruisare. Unele dintre ele sînt destul de ductile. Toate prezintă viteze de fluaj foarte scăzute la temperaturi apropiate de punctul de topire al matricei. Este remarcabil la aceste aliaje faptul că nu prezintă fenomene de creştere granulară şi recristalizare, ceea ce le conferă o stabilitate structurală deosebită. Pentru a exemplifica acest lucru este suficient să amintim că probe de aliaje consolidate prin dispersie, încălzite deasupra punctului de topire a matricei, după răcire nu şi-au redus rezistenţa mecanică [1].

Pînă în prezent nu există o teorie unitară generală care să explice proprietăţile aliajelor consolidate prin dispersie. Aproape toate ipotezele, modelele şi mecanismele privitoare la proprietăţile mecanice ale acestor materiale au un caracter calitativ.

Excepţie face teoria Lenel-Ansell privitoare la deformarea plastică şi fluajul materialelor consolidate prin dispersie, dar ea nu a fost extinsă pînă în prezent şi pentru alte proprietăţi cum ar fi rezistenţa la rupere, ecruisaj, rezistenţa la revenire etc.

## IV. FACTORII CE CONDIŢIONEAZĂ PROPRIETĂŢILE MECANICE ALE ALIAJELOR CONSOLIDATE PRIN FAZĂ DISPERSĂ STABILĂ

Principalii parametri ce determină calităţile mecanice ale aliajelor menţionate mai sus sînt următorii :

*1.* Caracteristicile dimensionale ale dispersiei, adică dimensionarea particulelor şi intervalul dintre ele. Aceste două măsuri determină conţinutul de fază secundară dispersă [12].

*2.* Caracteristicile de formă ale dispersiei, definite prin forma particulelor fazei secundare, modul de distribuţie al lor în microstructura materialului, eventuale anizotropii.

*3.* Caracteristicile mecanice ale matricei şi fazei secundare. Este important de amintit că proprietăţile mecanice ale particulelor de fază dispersă pot diferi de cele ale aceluiaşi material de dimensiuni macroscopice [11].

*4.* Tensiunile de coerenţă între particulele fazei disperse şi matrice. Aceste tensiuni şi distanţa de la interfaţa matrice—particulă dispersă, pînă la care ele acţionează, depind de proprietăţile celor două reţele atomice şi de tratamentele termo-mecanice aplicate sistemului.

Tensiunea de coerenţă este un parametru a cărui valoare este greu de stabilit chiar şi ca ordin de mărime, în deosebi în cazul dispersiilor submicronice. Ridicarea temperaturii complică şi mai mult situaţia datorită creşterii amplitudinii vibraţiei atomice [1].

Analiza lucrărilor publicate pînă în prezent duce la concluzia că rezistenţa mecanică deosebită şi stabilitatea structurală, în special la temperaturi înalte, se obţin cînd sînt satisfăcute următoarele condiţii principale :

— dimensiunea particulelor şi a intervalului dintre ele să fie de ordin micronic sau submicronic (mergînd pînă la 0,01 $\mu$) ;

— energia de formare a particulelor fazei disperse să fie cît mai mare ;

— faza dispersă să aibă duritatea cît mai mare iar rezistenţa mecanică a matricei să fie mărită prin aliere şi prin ecruisare în timpul elaborării materialului.

* * *

Deşi singurele aliaje consolidate prin fază dispersă stabilă, fabricate pe scară industrială sînt aliajele de aluminiu sinterizate, interesul pentru această clasă de materiale este în creştere datorită perspectivelor de aplicare ca materiale termorezistente şi în tehnica nucleară. Acest lucru este dovedit de numărul tot mai mare de lucrări care apar în acest domeniu.

Se pare că una din problemele principale rămîne cea a obţinerii economice a acestor materiale şi în această direcţie metalurgia pulberilor trebuie să-şi dovedească oportunitatea.

## CERCETĂRI EXPERIMENTALE

In ultimul timp, s-au studiat în laborator posibilităţile de obţinere a aliajelor consolidate prin fază dispersă stabilă, aplicabile în construcţia reactorilor atomici. Cercetările experimentale întreprinse, au condus la elaborarea a trei calităţi principale de aliaje de aluminiu cu conţinuturi diferite de fază dispersă stabilă de $Al_2O_3$.

Aceste aliaje au fost elaborate după tehnologia specifică de obținere a materialelor consolidate prin fază dispersă stabilă de tip SAP și anume: obținerea unei pulberi brute prin atomizarea aluminiului lichid, măcinarea pulberii brute pînă la finețea dorită, operație însoțită de oxidarea superficială a particulelor de pulbere, presarea, sinterizarea și extruderea la cald sub formă de baghete cilindrice.

Cele trei calități de aliaje amintite au fost notate cu simbolul AS (aluminiu sinterizat) urmat de două grupe a două cifre, dintre care prima reprezintă conținutul de oxid ($Al_2O_3$), exprimat în procente de greutate, iar a doua dimensiunea mare mediană a particulelor de pulbere, exprimată în microni.

O parte din caracteristicile mecanice la temperatura de 20 °C ale aliajelor obținute sînt prezentate în tab. I

| | $\sigma_r$ (Kg/mm²) | $\sigma_{0,2}$ (Kg/mm²) |
|---|---|---|
| AS0760 | 25 | 19 |
| AS1010 | 29 | 20 |
| AS1502 | 38 | 28 |

În *figura 1*, care prezintă comparativ valorile rezistențelor la rupere ale aliajelor AS cu datele din literatura de specialitate, se observă că valorile obținute sînt comparabile cu ale aliajelor de acest tip elaborate în străinătate, cu excepția datelor publicate de U.R.S.S.

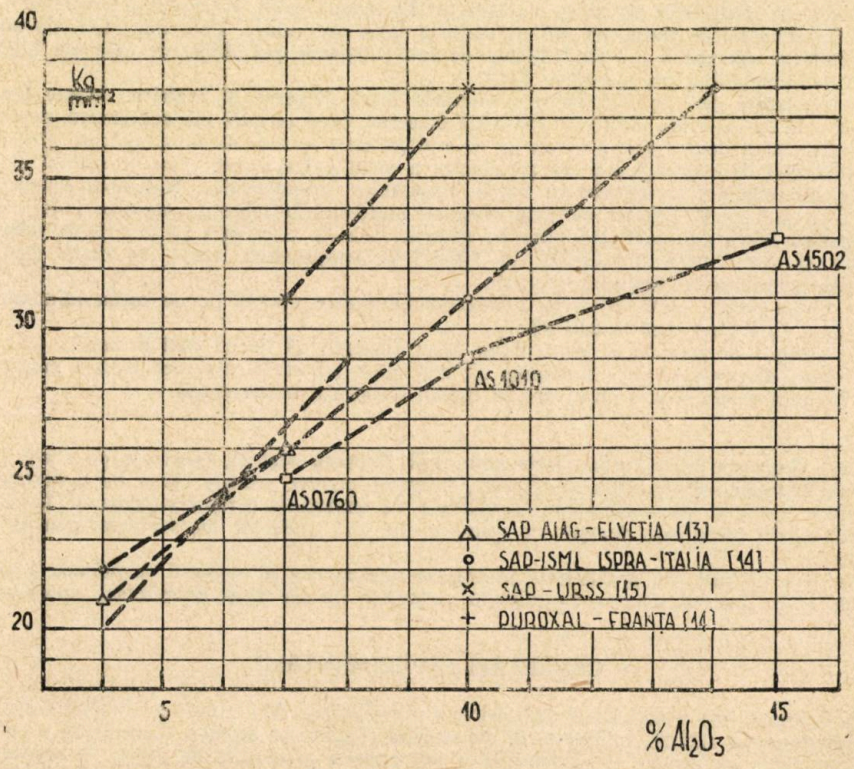



**Fig. 1**

Din diagramă mai reiese că rezistența la rupere a aliajelor AS crește mai lent cu conținutul de oxid față de aliajele SAP-ISML (14% A 1203). Acest fapt trebuie atribuit diferențelor tehnologice de elaborare a celor două tipuri de aliaje. În timp ce pulberea pentru aliajele SAP-ISML este măcinată în mori de oțel, cea pentru AS1502 a fost măcinată în mori confecționate din aliaje de aluminiu. Dată fiind durata mare de măcinare necesară pentru a atinge o finețe corespunzătoare unei oxidări avansate (—14% $Al\,O_3$) este foarte probabil ca în compoziția pulberii destinate aliajului SAP-ISML (14% $Al_2O_3$) să rămînă fier, chiar după separarea magnetică pentru îndepărtarea particulelor de pulbere bogate în fier, care poate ridica rezistența la rupere a aliajului respectiv.

În *figura 2* sînt prezentate comparativ datele privind limita tehnică de curgere ($\sigma\,0{,}2$) a aliajelor AS și a celor mai importante din străinătate. Comparînd cele două diagrame, constatăm că intervalul între $\sigma r$ și $\sigma\,0{,}2$ este mai mic la aliajele din seria AS decît pentru aliajele citate în literatură, fapt care poate fi atribuit unor condiții de sinterizare și prelucrare mecanică diferite.

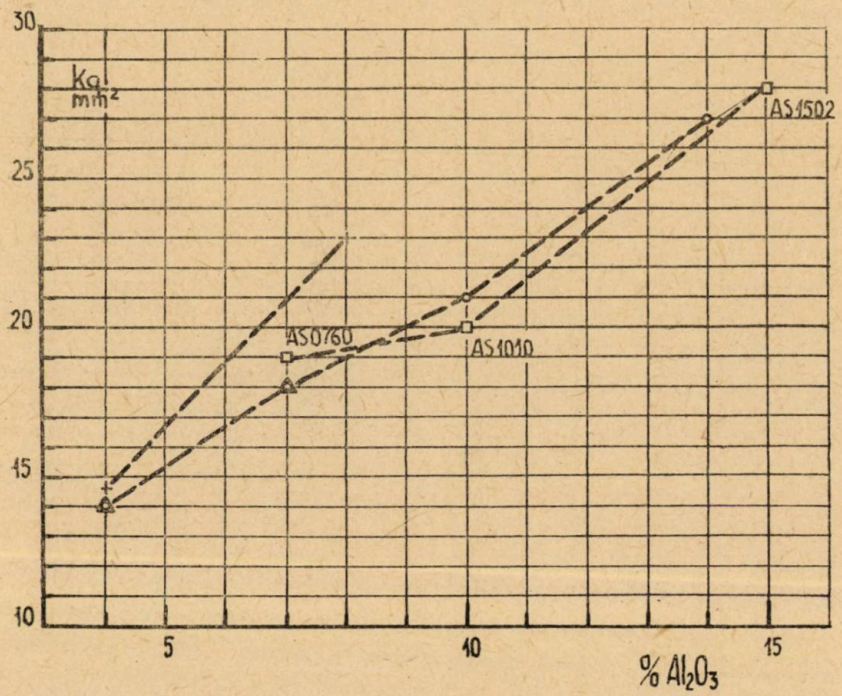



Fig. 2

BIBLIOGRAFIE

1. ★ ★ ★ (1963): Lucrările conferinței „Dispersii nemetalice în metalurgia pulberilor", *Powder Metallurgy*, **11**.
2. C. G. Goetzel, R. P. Bunshah (1960): *Proceedings of Powder Metallurgy Conference*, New York.
3. R. A. Huggius (1958): *Stanford University*, octombrie.
4. J. L. Meyesing (1957): *Phillips Research Reports*, **81**, 260.

5. C. G. Goetzel (1959): *J. Metalls*, 276.
6. M. Grimwade (1962): *Powder Metallurgy*, **13**, *10*.
7. C. S. Roberts (1952): *Trans. Am. Soc. Metals*, **44**, *1150*.
8. E. Orowan (1954): *Dislocations in „Metals"*, New York.
9. E. Orowan (1948): *Simposiumon International Stresses*, în *„Metalls and Alloys"*, Inst. of Metals, London
10. J. C. Fischer (1953): *Acta Metalurgica*, **1**, 336.
11. F. V. Lonel, G. S. Ansell (1960): *Proceedings of Powder Metallurgy Conference*, New York.
12. C. S. Smith, L. Guttman (1953): *J. Metals*, **5**, *81*.
13. * * * 1964): Proceedings of the Third International Conference Geneva, vol. 9.
14. * * * (1963): Izv. vîsş. ucebn. zaved. Ţvetn. met. 2.

# INFORMARE

## privind participarea la consfătuirea tehnico-științifică organizată la uzina „Unio" din Satu-Mare, în zilele de 15 . . . 16 iunie 1967

Consfătuirea tehnico-științifică organizată la uzina „Unio" Satu Mare, în zilele de 15 și 16 iunie 1967, a avut ca tematică „Îmbunătățirea calității utilajului minier". În acest scop, au fost invitați delegați din partea : Ministerului Industriei Constructoare de Mașini, Ministerului Minelor, uzinelor constructoare de mașini, combinatelor și exploatărilor miniere, institutelor de învățămînt superior, CNIT etc.

Din partea institutelor de învățămînt superior au participat delegații Institutului politehnic din Timișoara : conf. ing. L. Boleanțu și șef. lucr. ing. T. Babeu.

Consfătuirea a fost deschisă de ing. M. Dumitrașcu, inginer șef la uzina „Unio" din Satu Mare. Din partea MICM tov. ing. R. Georgescu și din partea CNIT tov. ing. I. Filimon au arătat scopul organizării consfătuirii tehnico-științifice.

În cadrul consfătuirii au fost prezentate trei referate privind activitatea desfășurată în domeniul utilajelor miniere :

1. *Perspective privind construcția și fabricarea în țară a utilajului minier și de preparare.* — Direcția tehnică a Ministerului Minelor.

În referat s-au arătat sarcinile importante care revin industriei miniere necesitînd pentru realizarea acestora, utilaje moderne ca tip, sigure în exploatare, comparabile pe plan mondial din toate punctele de vedere. Privind calitatea utilajului minier fabricat în țară, s-au specificat deficiențele, care în mare măsură se datoresc lipsei de specializare a cadrelor în proiectare și cercetare, lipsurilor de utilaje ale uzinelor constructoare, preocupării slabe în profilul electrotehnic. Se necesită în continuare stabilirea gamei de mașini miniere pentru asimilare, cît și în special posibilitățile de asimilare ale uzinelor noastre constructoare de mașini. În general, deficiențe mari sînt în legătură cu nivelul tehnic scăzut al standurilor de încercarea utilajelor, timpul foarte scurt în care trebuie încercate prototipurile, cît și montajul pentru exploatare efectuat întotdeauna cu mare întîrziere de întreprinderile de montaj.

2. *Ridicarea nivelului tehnic al utilajelor miniere prin îmbunătățiri tehnologice, modernizarea și asimilarea de produse noi.* — Direcția generală utilaj minier, Grupul de urmărirea utilajului minier a MICM.

În referat s-a arătat importanța mecanizării proceselor miniere, gradul de mecanizare și profilul uzinelor, care execută utilaj minier. Printre principalele lipsuri semnalate, se menționează pentru utilajele fabricate următoarele : anduranța foarte redusă a unor organe de mașini și piese (angrenaje, bucșe etc.), se execută tipuri de mașini depășite sau prototipuri care nu au dat rezultate în exploatare, uzinele constructoare nu înștiințează beneficiarii de existența prototipurilor pentru a fi introduse în faza de experimentare, în perioada de experimentare a prototipurilor nu se ține evidența orelor reale efectuate, nu se asigură în exploatare întreținerea utilajului, efectuîndu-se numai reparații capitale. Preocupări și măsuri necesare realizării execuției utilajelor în condiții optime din punct de vedere tehnologic sînt : organizarea științifică a producției, o mai bună organizare a serviciilor de concepție, revederea standardelor etc.

3. *Stadiul fabricației în țară a utilajelor electrice miniere antigrizutoase, asimilări de produse noi.* — Ministerul Industriei Constructoare de Mașini.

În referat se arată sprijinul acordat sectorului minier de ramura electrotehnică prin produsele antigrizutoase, experimentările în exploatare efectuate.

În cadrul discuțiilor privind referatele prezentate, care au avut și un caracter de consfătuire de producție între proiectanți, executanți și exploatare a luat cuvîntul conf. ing. L. Boleanțu, din partea Catedrei de rezistența materialelor I.P.T. și a Centrului de cercetări tehnice B.A.T., prezentînd activitatea catedrei și a CCT în problemele de încercări de metale. S-a arătat importanța organizării laboratoarelor uzinale, principalele preocupări în acest domeniu, lucrările de colaborare cu producția, cu care sectorul de utilaj minier poate fi ajutat (tensometrie electrică, fotoelasticitate, încercări ultrasonice etc.) din partea catedrei și CCT. De asemenea s-a arătat preocuparea colectivelor de cercetare din catedră în domeniul încercărilor de cabluri din oțel și lanțuri.

La discuții au mai participat delegații Ministerului minelor, „Unio" Satu Mare, Combinatul carbonifer Valea Jiului, „Independența" Sibiu, Uzina de mașini electrice București, Exploatarea minieră Baia Sprie, Uzina de utilaj minier Baia Mare etc.

În continuare, s-au prezentat comunicări privind construcția ventilatoarelor axiale miniere, a utilajelor pneumatice miniere, a rolelor de la transportoarele cu bandă, a utilajelor antigrizutoase, a utilajelor de preparare etc.

În program a fost prevăzută și o vizită a uzinei „Unio" Satu Mare, cu prezentarea utilajelor miniere fabricate, ca: transportor cu raclete, șerpuitor blindat, transportor cu bandă de cauciuc tip greu, locomotive de mină, trolii miniere etc.

În cadrul discuțiilor purtate, delegații Uzinei Unio, Satu Mare și ai Combinatului carbonifer, Valea Jiului s-au adresat reprezentanților Catedrei de rezistența materialelor IPT și ai Centrului de cercetări tehnice, Timișoara în vederea colaborării privind încercările de metale pentru utilajele miniere.

Se consideră ca foarte utilă participarea la această consfătuire tehnico-științifică, în vederea realizării colaborărilor cu producția, acordîndu-se sprijin și asistență tehnică, în vederea îmbunătățirii calității utilajelor miniere.

L. BOLEANȚU,

T. BABEU

# A 7-a SESIUNE DE COMUNICĂRI ȘTIINȚIFICE ICEM

B. ROTENȘTEIN, R. FISCHGOLD

*Institutul de cercetări metalurgice, București*

Intre 19 și 21 ianuarie 1967 a avut loc la București cea de-a 7-a sesiune de comunicări științifice a Institutului de Cercetări Metalurgice (ICEM) în colaborare cu sectoare de studii și cercetări ale unor uzine siderurgice din Republica Socialistă România, institute de învățământ superior și unități de cercetare cu preocupări apropiate de metalurgie. La lucrările sesiunii au participat reprezentanți cunoscuți ai științei metalurgice din R.F. a Germaniei, R.D. Germană, Franța, R.P. Polonă, R.S.F. Iugoslavia și Austria.

Lucrările sesiunii au fost salutate de vice-președintele Consiliului de Miniștri al R.S.R., Gh. Gaston-Marin, ministrul industriei metalurgice ing. I. Marinescu, precum și de alți reprezentanți ai vieții publice și științifice.

In cadrul ședinței plenare s-au prezentat patru comunicări de interes general.

In comunicarea *Criterii de apreciere a calității oțelurilor în funcție de domeniile lor de utilizare*, acad. Șt. Nădășan a expus o serie de considerații asupra măsurilor ce trebuie luate în completarea criteriilor de apreciere a calității oțelurilor, atingînd în treacăt și alte măsuri menite a contribui la reducerea consumului specific de oțel.

Prof. Al. Rău (Inst. politehnic Gh. Gheorghiu-Dej, București) a prezentat lucrarea *Tendințe în legătură cu procedeele moderne de producere a oțelului*, în cadrul căreia s-a referit la căile posibile de dezvoltare a producției de oțel în țara noastră.

Comunicarea *Problema materiilor prime și a valorificării lor raționale în siderurgie*, expusă de prof. Gh. Vanci (Inst. Politehnic București), s-a referit la problemele resurselor naturale ale Republicii Socialiste România în legătură cu obiectivele creșterii producției metalurgice în țara noastră.

Conf. I. Tripșa, directorul institutului, a prezentat, în comunicarea *Realizări și perspectiva cercetării metalurgice*, realizările importante ale cercetării în institut în cursul anului 1966 și direcțiile în care urmează a se dezvolta cercetarea în perioada care urmează.

Lucrările s-au desfășurat în șapte secții de specialitate, în total fiind prezentate un număr de 112 comunicări.

*In secția* Elaborarea fontei, s-au prezentat lucrări din domeniul metalurgiei fontei, precum și de aplicații industriale.

In referatul prof. W. Oelsen (Institutul „Max Planck", Republica Federală a Germaniei) intitulat: *Legile reacțiilor deduse prin experimentări de laborator, dintre fonta topită, zgura de furnal și carbonul elementar*, sînt examinate diferite probleme teoretice importante cum ar fi, rolul siliciului ca agent reducător, influența raportului cantitativ între fier și zgură asupra efectului de reducere a carbonului, rolul oxidului de carbon la reacțiile dintre topiturile de fier și zgurile silicioase.

O altă lucrare, a lui I. Tripșa, C. Avram, O. Hătărăscu și G. Atanasiu, intitulată: *Cercetări în vederea reducerii consumului specific de cocs la elaborarea fontei în furnal*, analizează tendințele pe plan mondial în direcția reducerii consumului de cocs la furnale. Ținînd seama de condițiile specifice din R.S.R., se cercetează posibilitatea unei reduceri mai avansate a consumului specific de cocs, prin folosirea mai eficientă a gazului metan la elaborarea fontei la furnale.

Lucrarea lui I. Elpons (Sulzau-Werke, Austria) *Folosirea fontei de mangal la turnarea pieselor de înaltă rezistență*, ilustrează cu date din practica uzinelor, unele aspecte în legătură cu utilizarea fontei australiene de furnal cu cărbune de lemn, în legătură cu scăderea rebuturilor în turnătorii.

Prof. A. Domșa și Z. Spîrchez (Inst. Politehnic Cluj) prezintă în comunicarea lor *Reducerea oxizilor de fier în echicurent de gaz metan*, rezultatele obținute la studiul reducerii oxizilor de fier direct cu gaz metan într-un sistem convertizor-reducător, care pe lîngă un conținut scăzut de carbon și oxigen al buretelui ($C < 0{,}1$ și $O < 1{,}0$) asigură și obținerea unui gaz convertit cu un conținut de CO și $H_2$ peste 90%.

Din grupul mare de referate care studiază probleme de metalurgia fontei de a doua fuziune, s-au făcut remarcate cele ale lui I. Sofroni: *Considerații privind eficacitatea modificatorilor complecși folosiți la elaborarea fontelor de calitate* și C. Cosneanu, V. Landes, I. Sofroni, F. Crișan *Cercetări privind îmbunătățirea proprietăților tehnologice ale amestecurilor de formare fluide cu autoîntărire.*

*În secția* Oțeluri și tratamente termice au fost prezentate 12 comunicări privind probleme ale îmbunătățirii tehnologiei de elaborare a oțelului în cuptoare industriale (precum și în instalații de laborator cu vid), tratamentele termice ale unor oțeluri pentru construcții de mașini, aparatură și metode de analiză și control.

Comunicarea *Heterogeneitatea de faze și fenomenele de coroziune în oțelurile inoxidabile care durifică prin precipitare*, prezentată de G. Rossi și A. Cignolini, de la Centro sperimentale metallurgico S.p.A. Genova, constituie o contribuție la cercetarea oțelurilor inoxidabile bifazice austenito-feritice cu caracteristici superioare de rezistență, tenacitate și uzură. S-a confirmat posibilitatea modificării proprietăților tehnologce ale acestor oțeluri, prin reglarea compoziției chimice și a tratamentului termic, astfel ca să se obțină rezultate favorabile pentru aplicațiile inițial preconizate.

În comunicarea *Posibilități de îmbunătățire a calității oțelurilor aliate elaborate în cuptoare Martin*, autorii C. Popescu și M. Ponoran, prezintă unele îmbunătățiri obținute în tehnologia de elaborare și turnare la Combinatul siderurgic Reșița.

S. Tudorică și P. Teoreanu analizează în comunicarea lor rezultatele obținute la Combinatul siderurgic Hunedoara prin îmbogățirea aerului de combustie cu oxigen introdus prin arzătoare și lănci și prin insuflarea oxigenului în baia de oțel cu ajutorul lăncilor montate în boltă.

În urma cercetărilor efectuate pentru îmbunătățirea lingourilor de bandaje și discuri s-a stabilit un format nou de lingouri care a condus la obținerea unor rezultate favorabile ce au fost comentate de F. Panaitescu și S. Sepi în lucrarea *Îmbunătățirea calității lingourilor pentru bandaje și discuri prin modificarea parametrilor dimensionali.*

După expunerea lui K. Striker asupra calității unor oțeluri elaborate într-o instalație experimentală prin procedeul retopirii cu arc în vid, s-a prezentat comunicarea *Contribuții la studiul pierderilor prin vaporizarea elementelor de aliere la retopirea oțelului în vid, în cuptor cu electrod consumabil* susținută de L. Apa. A fost discutat mecanismul procesului de vaporizare a manganului, comparativ cu fenomenul de vaporizare a altor metale.

În comunicarea *Contribuții privind folosirea materialelor termo-izolatoare la turnarea oțelurilor calmate*, N. Deică a prezentat rezultatele folosirii la scară industrială în oțelăriile din țara noastră, a prafurilor termoizolatoare românești și fenomenele complexe fizico-metalurgice care intervin la folosirea acestor materiale.

Pe baza cercetărilor efectuate la scară industrială, C. Ionescu, N. Drăgan, I. Pipera, M. Ponoran și S. Sepi au prezentat în comunicarea lor *Aspecte cu privire la îmbunătățirea calității bandajelor de vagoane și locomotive* rezultatele acestor lucrări, parametrii procesului de normalizare și domeniile compozițiilor chimice ale oțelurilor pentru bandaje, în funcție de condițiile concrete de tratament termic la combinatul siderurgic Reșița.

M. Trușculescu a prezentat încercările făcute pe oțeluri aliate cu 9% Ni, 4% Co (sau fără acest element) în cadrul comunicării *Influența cobaltului asupra transformărilor la revenire ale oțelurilor cu 9% Ni.*

În comunicarea *Stabilirea tratamentului termic al oțelurilor de cementare în vederea îmbunătățirii prelucrabilității prin așchiere*, S. Scroba a prezentat unele rezultate preliminarii ale încercărilor de modificare a regimului de tratament termic a unor oțeluri de cementare în vederea facilitării prelucrării mecanice ulterioare prin așchiere.

Pentru măsurarea automată a temperaturii oțelului lichid, s-a pus la punct o instalație corespunzătoare. Descrierea acestei instalații și rezultatele experimentale obținute au fost prezentate în comunicarea susținută de M. Ghinea, O. Perva și T. Elisei.

Luciana Nicolescu, Margareta Morait și Erica Mustăcescu au prezentat comunicarea *Metode pentru determinarea ceriului din oțeluri.*

*În secția de* Deformări plastice au fost prezentate în total 16 comunicări, majoritatea din acestea tratînd probleme legate de tehnologia de fabricație a diferite produse laminate (inclusiv țevi).

Un grup relativ mare de comunicări s-a ocupat de aspecte ale producției de țevi (atît sudate cît și fără sudură). A suscitat un viu interes lucrarea prezentată de ing. I. Hoblea (Institutul pentru proiectări de laminoare) intitulată: *Particularități privind tehnologia de fabricație a țevilor la laminoarele alungitoare.* În lucrare se indică unele principii constructive ale laminoarelor reductoare alungitoare, dezvoltarea și domeniile lor de utilizare, precum și influența cuplării liniilor de țevi cu reductoare alungitoare asupra tehnologiei de fabricație a țevilor sudate și fără sudură.

Referatul lui Fr. Riedl și F. Salfitsky (Uzina Sulzau-Werke, Austria) a scos în relief o serie de cerințe sporite care se impun cilindrilor de laminor în legătură cu creșterea neîntreruptă a productivității la liniile continue de benzi și tablă. Pe baza experienței îndelungate a uzinei în acest domeniu s-au indicat unele principii de alegere și utilizare rațională a cilindrilor în funcție de calitatea lor și de caracteristicile impuse materialului laminat.

Unele influențe ale factorilor metalurgici asupra diferitelor produse laminate, trefilate sau forjate, sînt examinate amănunțit în mai multe lucrări. Astfel de exemplu, dr. ing. O. Boguș (directorul institutului de Metalurgie din Praga) a prezentat o nouă metodă studiată în R.S. Cehoslovacă privind fabricația de rulmenți din material cu structură omogenă.

S-a constatat că, respectîndu-se principiile bine cunoscute ale elaborării oțelului de calitate, influența cea mai puternică asupra micșorării defectelor de fabricație, o are gradul de deformație a metalului. Noua tehnologie de fabricație se bazează pe laminarea de lingouri de greutate mijlocie în sleburi. Din barele obținute în final, se taie inele cărora prin presare li se dă o formă cilindrică. Deformarea deosebit de puternică a slebului modifică dispunerea incluziunilor nemetalice, astfel încît miezul slebului este format din metal de înaltă calitate.

În lucrarea susținută de prof. dr. ing. W. Lehnert (Academia de Mine din Freiberg, Republica Democrată Germană) și intitulată: *Hidrogenul în sîrma de înaltă rezistență* s-au prezentat unele date experimentale în legătură cu manifestarea coroziunii în sîrme de oțel de rezistență ridicată.

De asemenea se dau rezultatele unor cercetări privind acțiunea dăunătoare exercitată de hidrogen în sîrmele puternic tensionate.

În lucrarea *Posibilități practice de îmbunătățire a metodelor aplicate la uzinele siderurgice din Republica Socialistă România pentru aprecierea ambutisabilității tablelor subțiri și benzilor* de I. Franțiu, N. Laiu și R. Fischgold se sintetizează încercările legate de ambutisabilitate, verificate practic într-o anumită măsură, a căror aplicare este promițătoare în ceea ce privește reproductibilitatea determinărilor și utilitatea caracteristicilor obținute pentru aprecierea comportării tablelor, încercate în condiții de laborator, la prelucrarea lor în produse industriale. Pe baza experiențelor executate și a rezultatelor obținute de autori se propun caracteristicile de utilizat și metoda determinării lor operative pentru a îmbunătăți sensibil aprecierea ambutisabilității tablelor subțiri și a benzilor prin încercări realizabile fără dificultăți în laboratoarele uzinelor noastre.

Date experimentale comparative privitoare la decarburarea oțelurilor pentru arcuri și rulmenți în diferite uzine din țara noastră sînt prezentate în comunicarea lui A. Craiti și C. Giotta intitulată: *Cercetări cu privire la decarburarea unor oțeluri pentru arcuri și rulmenți în condițiile încălzirii în cuptoare cu propulsie.*

Tot în cadrul secției de deformări plastice au fost prezentate trei lucrări privind aplicarea statisticei matematice în procesele de laminare, din care citäm: *Aplicarea analizei de regresie în procesele metalurgice* de M. Zeț (Institutul de Cercetări metalurgice Zenica, R.S.F. Iugoslavia) și *Metode matematice pentru evaluarea siguranței în exploatare a echipamentului din laminoare* de T. Popescu și D. Duță.

In secția Utilizarea și proprietățile fizico-mecanice ale oțelurilor s-au prezentat 16 comunicări pe teme privind comportarea la temperaturi înalte a unor oțeluri pentru centrale și rafinării, sudarea, controlul în flux și utilizarea țevilor sudate, utilizarea oțelurilor cu caracteristici superioare pentru construcții sudate și probleme ale proprietăților și controlul produselor siderurgice.

In comunicarea *Considerații asupra posibilităților de prelungire a duratei de exploatare a conductelor din oțeluri ferito-perlitice Cr-Mo folosite la transportul de fluide calde sub presiune*, A. Constantinescu, B. Rotenștein și N. Lașcu-Simion au făcut o analiză a rezultatelor cercetărilor experimentale de fluaj și observațiilor asupra unor oțeluri supuse timp îndelungat în exploatare la presiuni mari și temperaturi ridicate și au propus o metodologie de control experimental al țevilor utilizate 100 000 h, pentru stabilirea acestor posibilități.

N. Lașcu-Simion, L. Staicu și Minodora Iacob au prezentat în comunicarea *Studiul comportării în regim de solicitări variabile de lungă durată la temperaturi ridicate a unui oțel termostabil cu 1% Cr—0,5% Mo* aspecte legate de modul în care sarcinile variabile de lungă durată la temperaturi ridicate influențează structura materialului.

O mare atenție s-a acordat problemelor oțelului pentru construcții sudate cu caracteristici mecanice superioare. A. Caracostea, V. Ghimeș și H. Sălăjan, în comunicarea *Considerații asupra caracteristicilor mecanice ale oțelului tip OL 38 calmat folosit în construcții metalice sudate* au analizat comparativ principalele proprietăți de utilizare ale oțelului menționat, în stare brută de laminare și după normalizare. La discuțiile care au urmat pe marginea acestei teme au participat numeroși specialiști. In intervențiile lor, ing. A. Constantinescu a insistat asupra unor aspecte teoretice ale distribuției caracteristicilor mecanice ale oțelurilor pentru construcții sudate, iar ing. B. Nahbar a prezentat date preliminării asupra unor oțeluri slab aliate pentru construcții sudate, în curs de cercetare la ICEM.

Cu mult interes au fost ascultate și comunicările privind diferitele aspecte ale cercetărilor efectuate asupra țevilor sudate. Astfel, în comunicarea *Domeniile de utilizare a țevilor din oțel carbon obișnuit sudate pe generatoare*, N. Lașcu Simion și Maria Patriciu au prezentat rezultatele unor lucrări urmărind extinderea utilizării acestor produse la temperaturi de exploatare mai ridicată și în diferite medii agresive.

Calitatea țevilor sudate necesită un control atent, în flux, al producției acestora. Problemelor controlului ultrasonic le sînt consacrate mai multe comunicări printre care menționăm *Posibilitatea controlul defectoscopic în flux la țevi sudate pe generatoare* prezentată de A. Constantinescu și L. Staicu.

Considerații asupra defectelor admise în pereții țevilor de cazan și asupra condițiilor practice ale aplicării controlului ultrasonic al țevilor s-au expus de către V. Vlădescu, Gr. Giurcăneanu, Gh. Condrea și V. Mușat în comunicarea *Rezultatele obținute la controlul calității țevilor de cazan prin metoda ultrasonică a impulsului reflectat.*

O interesantă comunicare a fost expusă de T. Ungureanu, M. Bohosievici, V. Pînzaru, P. Toma și M. Făclieru despre *Influența parametrilor de sudură și a geometriei țevii asupra calității cusăturii sudate.*

O analiză a proceselor metalurgice care determină obținerea sudurilor de calitate a oțelurilor aliate cu Mn și MnSi a fost efectuată în cadrul comunicării *Cercetări privind obținerea de electrozi pentru oțeluri slab aliate cu Mn și Mn-Si sudabile și cu rezistențe ridicate*, prezentată de I. Valea.

In cadrul comunicării *Considerații asupra oțelurilor indigene și de import folosite la fabricarea lanțurilor de transmisie la instalațiile de foraj*, D. Rașeev, M. Marcu, N. Antonescu și I. Tudor au expus rezultatele cercetărilor efectuate privind structura și proprietățile fizico-mecanice ale acestor materiale.

L. Boleanțu a examinat în comunicarea *Procese de distrugere în suprafețele de contact a sîrmelor din cablurile de tracțiune*, accelerarea ruperii prin oboseală a sîrmelor datorită diferitelor fenomene care au loc în zonele de contact și a stabilit condițiile cînd un anumit fenomen este predominant.

Unele aspecte ale controlului magnetic nedestructiv al inelelor de rulmenți au fost prezentate de Florina Georgescu.

O analiză comparativă a prescripțiilor standardizate pentru oțeluri carbon, oțeluri slab aliate cu destinație generală, precum și a unor categorii de oțeluri cu destinație generală,

precum și a unor categorii de oțeluri cu destinație precizată, a fost expusă în comunicarea *Aspecte comparative privind prescripțiile standardizate ale anumitor categorii de oțeluri* prezentată de R. Slătineanu, Maria Gustescu, B. Nahbar și B. Rotenstein.

L. Eberlein (Academia de Mine Freiberg, R.D.G.) a prezentat comunicarea *Determinarea curbelor de rezistență la deformarea la rece*, în cadrul căreia s-au prezentat opt procedee de stabilire a acestor curbe pornind de la încercări de tracțiune și reziliență.

In referatul *Reziliența, criteriu de apreciere a calității oțelului pentru construcții metalice*, V. Micloși, a prezentat premizele științifice ale interpretării corecte a criteriului de reziliență și corelare a acestuia cu siguranța construcției.

E. Iovițiu a susținut folosirea epruvetelor ISO-V pentru determinarea succeptibilității la ruperi fragile pe baza a numeroase încercări de reziliență a oțelurilor OL 38, OL 42 și OL 50, ale căror rezultate au fost comentate în cadrul comunicării *Avantajele folosirii epruvetei de reziliență ISO-V la arpecierea comportării tenaco-fragile a oțelurilor la temperaturi joase.*

In Secția de aliaje neferoase și metalurgia pulberilor s-au expus lucrări efectuate atît în cadrul industriei siderurgice, cît și în alte unități (constructoare de mașini sau de cercetare). Dintre lucrările care au suscitat un interes deosebit, menționăm:

*Defecte structurale în materiale semi-conductoare* de Suzana Gîdea și M. Protopopescu, în care autorii au încercat să explice și să clasifice defectele structurale din materialele metalice pe baza teoriei dislocațiilor.

Prin studii metalografice s-au putut pune în evidență unele dintre aceste tipuri de defecte structurale, înterpretîndu-se acțiunea lor asupra rezistivității electrice și calității joncțiunilor P-N, pentru germaniu, siliciu și indiu-stibiu realizate în industria de semiconductori din țara noastră.

*Contribuții la elaborarea aliajului de tip Cu-Cr în vederea folosirii lui pentru piese de antifricțiune* de P. Marcu, B. Vasilescu, Elena Rădulescu, I. Bock. Lucrarea expune cercetările de laborator efectuate în scopul stabilirii compoziției chimice optime și procesul tehnologic de elaborare a unui aliaj de tip cupru-crom, destinat turnării cuzineților pentru lagărele laminoarelor.

*Cercetări privind tehnologia elaborării, prelucrării și durabilității plăcuțelor din carburi metalice sinterizate pentru așchierea oțelurilor* de S. I. Radu, Cristina Zamfirescu, Gr. Niculescu și Gh. Oravitz. Se prezintă rezultatele obținute în fabricarea plăcuțelor, dure, brazarea și ascuțirea lor, precum și la obținerea unor plăcuțe amovibile (cu prindere mecanică). Rezultatele cercetărilor sînt completate cu un studiu comparativ asupra durabilității plăcuțelor românești în raport cu produsele similare din străinătate.

*Materiale pe bază de pulberi de fier cu elemente de aliere, pentru piese mecanice* de Aurelia Protopopescu, V. Manolache, Adina Storin. Se prezintă o serie de compoziții ale materialelor sinterizate cu bază de fier, cu adaosuri de Cu și Ni, destinate fabricării pieselor mecanice, analizîndu-se în funcție de tehnologia de fabricație, structura metalografică și proprietățile fizico-mecanice ale materialelor obținute, comparativ cu compoziție clasice Fe-grafit.

In Secția materiale refractare și abrazive s-au prezentat 15 comunicări

Dintre lucrările consacrate problemelor materialelor silico-aluminoase sînt de menționat mai ales următoarele patru

*Studiul mortarelor refractare silico-aluminoase* prezentat de V. Catană, N. Deică și A. Szabó, în cadrul căreia s-au descris calitățile de mortare refractare folosite în R.S.R., rezultatele lucrărilor de laborator asupra unor noi mortare și metodele pentru determinarea calităților optime a acestor re ete.

*Cercetări asupra alegerii refractarelor pentru căptușirea regeneratoarelor cuptoarelor pentru topirea sticlei*, în cadrul căreia Cristina Weater (Polonia) a prezentat metodologia de cercetare și rezultatele cercetărilor efectuate asupra mai multor materiale refractare.

*Studiul tehnologic al argilelor refractare din bazinul Anina* prezentată de A. Corneanu, V. Catană, A. Szabó, C. Camerman, în care se expun rezultatele cercetărilor efectuate asupra unor probe de argile din zăcămîntul menționat.

*Metodă fotocolorimetrică pentru determinarea raportului, degresant-liant în amestecurile de presare* prezentată de Maria Paniți, P. Paniți și C. Kreissl conținînd o expunere asupra unei metode rapide de determinare a raportului dintre conținutul de șamotă și argilă.

De o atenție deosebită s-au bucurat comunicările privind materialele refractare bazice. Dintre acestea este în primul rînd de menționat comunicarea *Sistemul $CaO$-$Mg$-$O$-$CaF_2$* prezentată de E. Schlegel (R.D.G.), în legătură cu clarificarea comportării la sinterizare a unei dolomite dintr-un zăcămînt cu cantități importante de fluorină.

In comunicarea *Produse refractare dolomitice legate cu gudron și comportarea acestora în convertizoarele cu oxigen*, prezentată de Zenaida Satcek și W. Szymborsky (Polonia), sînt expuse rezultatele cercetărilor efectuate asupra zăcămintelor de dolomită din R.P.P. și folosirea acestora la căptușirea convertizoarelor cu oxigen.

Cu mult interes a fost ascultată comunicarea *Producerea refractarelor magnezitice și magnezit-cromitice la Fabrica de produse refractare Dej*, expusă de P. Roșu, I. Bujor, I. Chira, Maria Roșu ș.a.

Dintre comunicările consacrate materialelor refractare silica, se menționează lucrarea *Noi domenii de utilizare a produselor refractare silica*, prezentată de C. Gheorghiu și Gh. Budici, iar în legătură cu materialele abrazive s-a remarcat comunicarea lui D. Marino, Șt. Barta, Kysela Wilhelm, Agneta Kulcsar, Ana Serdean, intitulată *Utilizarea caolinei de Harghita la fabricarea corpurilor abrazive cu liant ceramic.*

*În secția de produse cărbunoase, cocs, semicocs, termotehnică*, s-au remarcat unele comunicări tratînd probleme actuale din acest domeniu, din care citäm :

*Importanța și metodica cercetării cocsului metalurgic în R.D.G.* de prof. G. Gruson (Academia de Mine din Freiberg, Rep. Democrată Germană). Se dă o privire generală asupra consumului de cocs și a producerii cocsului în R.D.G., precum și asupra metodelor speciale de cercetare privind rezistența cocsului, structura porilor cocsului, capacitatea de reacție și însușirile determinate optic. Se descrie folosirea lor în exploatarea furnalelor pentru elaborarea fontei cenușii și pestrițe și în cubilourile din turnătorii.

*Urmărirea statistico-matematică a producerii cocsului brichete ICEM*, de I. Ștefănescu, I. Barbu, E. Falk, Gabriela Reinhorn. Lucrarea prezintă metodologia prin care a fost rezolvată această problemă cu ajutorul statisticii matematice.

Urmărirea constanței calității materiei prime și controlul dozării șarjei cu ajutorul calculelor de transmitere a erorilor, constituie o altă cale de aplicare a calculelor de statistică matematică la definitivarea tehnologiei la scară industrială.

*Producerea materialelor cărbunoase folosind cocs brichete* de I. Barbu, I. Ștefănescu, Paula Goga, Doina Enescu și Gabriela Reinhorn. Comunicarea prezintă comparativ rezultatele obținute la folosirea cocsului brichete pentru fabricarea electrozilor siderurgici, anozilor pentru electroliza aluminiului și a masei de electrozi tip Söderberg de la producerea carbidului. Se prezintă problemele teoretice și tehnologice apărute în timpul asimilării acestei noi materii prime și îmbunătățirile calitative realizate la produsele obținute.

*Cercetări privind desprăfuirea în instalația carbofluid* de D. Ionescu, Ruxandra Orosz, Gh. Budacă. Se prezintă :

— analiza eficienței sistemului de desprăfuire existent la fabricarea cocsului și semicocsului în strat fluidizat antrenat ;

— considerații teoretice asupra calculului randamentului global al ciocloanelor, funcție de natura și granulația materialului ;

— studiul sistemului de desprăfuire în două trepte — considerat ca optim — la fabricarea cocsului de fluidizare.

Discuțiile au avut un caracter deosebit de rodnic, de aprofundare teoretică și tehnologică practică, în special în jurul problemelor centrale de sporire a gradului de prelucrare tehnică a materiei prime, de creștere a valorii metalului, de extindere a producției de oțeluri speciale, de utilizare a metodelor științifice în activitatea de conducere a proceselor, de sporire a eficienței muncii de cercetare.

La ședința plenară de închidere au luat cuvîntul reprezentanți ai conducerii de Stat, invitați din străinătate și delegați ai uzinelor și altor instituții, care au apreciat călduros rezultatele lucrărilor celei de-a 7-a sesiuni de comunicări a Institutului de Cercetări Metalurgice.

# INFORMARE

## asupra Conferinței internaționale de sudură de la Ljubljana (Republica Federativă Socialistă Jugoslavia)

*1.* În zilele de *11—12 aprilie 1967* a avut loc la Ljubljana o conferință internațională cu tema *Revoluția științifică și tehnică în domeniul sudurii*, organizată de Asociația inginerilor și tehnicienilor sudori din R.S.F. Jugoslavia și de Institutul de sudură al R.S. Slovenia. Cu acest prilej s-au sărbătorit și cei 15 ani de activitate ai Institutului de sudură din Ljubljana.

La lucrările conferinței au participat, pe lîngă specialiști din R.S. Slovenă și delegați din celelalte republici ale R.S.F. Jugoslavia, un număr de 20 de specialiști din străinătate. În timpul conferinței s-a organizat și o expoziție de utilaje produse în R.S.F. Jugoslavia. La expoziție au expus instalații și utilaje firmele ARGOS-Italia și LINDE-R.F. a Germaniei.

Din țara noastră au participat la conferință: acad. Șt. Nădășan, directorul Centrului de cercetări tehnice din Timișoara a Academiei R.S. România (CCT) și conf. dr. T. Sălăgean, șeful secției de sudură.

Programul conferinței a cuprins 18 comunicări din care 16 ale oaspeților străini și 2 ale specialiștilor sudori din Slovenia. Lucrările s-au desfășurat în sala de ședințe a Casei pionierilor, în 4 ședințe de 3—4 ore fiecare. Atît comunicările străinilor cît și cele ale slovenilor au constituit prezentări de sinteză a realizărilor obținute pe perioada de la 2 la 5 ani, respectiv lucrări asupra unor domenii mai largi de preocupări. Mai jos sînt date comunicările în ordinea programului:

**11. aprilie 1967 — dimineața**

P. STULAR — Institutul de sudură Ljubljana: *Cincisprezece ani de cercetări științifice în Institutul de sudură.*

J. ČABELKA — Universitatea tehnică din Bratislava: *Revoluția științifică și tehnică și sudura.*

ȘT. NĂDĂȘAN și T. SĂLĂGEAN — Centrul de cercetări tehnice din Timișoara a Academiei Republicii Socialiste România: *Activitatea de cercetare științifică a Secției de sudură de la Centrul de cercetări tehnice din Timișoara al Academiei Republicii Socialiste România.*

G. HERDEN — Institutul central de sudură din Halle/Saale: *Stadiul actual și perspectivele tehnicii sudării în R.D. Germană.*

**11 aprilie 1967 — d. m.**

M. BECKERT — Institutul de sudură Magdeburg: *Asupra metalurgiei procedeelor intensive de sudură.*

A. LUTHY — Asociația sudorilor din Baden: *Sudarea oțelurilor cu rezistență mare și unele probleme în legătură cu acestea.*

I. BECKER — Institutul hidroenergetic din Budapesta: *Asupra problemelor sudării şi încercării sudurilor realizate prin topire intermediară în construcţia de cazane.*

A. SCHMIDT şi E. PLÖCKINGER — Societatea sudorilor austrieci din Viena: *Încărcarea prin sudare manuală şi cu electrod în formă de bandă.*

**12. aprilie 1967 — dimineaţa**

E. FEUSTEL — Şcoala superioară tehnică din Hannover: *Situaţia cercetărilor asupra influenţei cîmpurilor magnetice la sudarea cu arcul electric.*

H. GRANJON — Institutul de sudură din Paris: *Situaţia actuală a lucrărilor privind analiza termică locală la sudarea oţelurilor.*

K. VELKOV — Universitatea tehnică din Sofia şi H. Granjon: *Aplicarea analizei termice locale la încercarea Jominy.*

D. REHFELD — Şcoala tehnică superioară din Hannover: *Analiza acustică la sudarea în baie de zgură.*

H. ZIETHE — Institutul central de sudură din Halle/Saale: *Privire asupra încercărilor pentru tehnologia sudării.*

B. SIXT — Societatea sudorilor austrieci din Viena: *Noi metale pentru sudare şi nituire.*

**12. aprilie 1967 — d.m.**

F. R. COE — Institutul de sudură din Londra: *Cercetări recente privind hidrogenul în metale cu aplicaţii la problemele sudării.*

K. SNIEGON — Institutul de sudură din Gliwice: *Tăierea cu plasmă şi sudarea automată a metalelor uşoare.*

R. M. GOODERHAM — Secţia de sudură a Asociaţiei tehnicienilor din Toronto: *Încercarea sudurilor şi organizarea inspecţiei în sudură.*

I. LIMPEL — Institutul de sudură Ljubljana: *Contribuţii asupra cercetării influenţei componenţilor din învelişul electrozilor asupra procesului de topire.*

In afara acestora, H. Wolf de la firma LINDE (RFG), a prezentat o lucrare privind tăierea şi sudarea cu plasmă.

Aşa cum rezultă din program, comunicarea pregătită şi susţinută de acad. Şt. Nădăşan şi conf. dr. T. Sălăgean s-a referit la principalele rezultate ale activităţii de cercetare ştiinţifică de la Secţia de sudură a CCT-ului. Lucrarea a fost primită cu interes, dovada fiind discuţiile pe care le-a prilejuit. Au pus întrebări: acad. J. Čabelka (RSC), prof. dr. M. Beckert (RDG), prof. P. Stular (RSFJ), prof. H. Granjon (Franţa), interesîndu-se mai ales de sudarea şinelor de cale ferată, de alierea în arcul electric şi de plasmă. La întrebările puse au răspuns autorii comunicării.

In legătură cu comunicarea prezentată din partea firmei LINDE (RFG), conf. dr. T. Sălăgean a făcut o intervenţie mai amplă arătînd următoarele: faţă de durata de 30 ore a diuzelor la generatoarele de plasmă ale firmei LINDE, diuzele generatoarelor elaborate la Secţia de sudură a CCT-ului se comportă mai bine şi anume ele funcţionează circa 100 ore. Aceasta se datoreşte unei construcţii originale a generatorului privind admisia gazelor şi cîmpurilor electrice şi magnetice, cu care se concentrează jetul de plasmă.

Arată apoi că tensiunile de 250 V folosite de firma LINDE la generatoare de plasmă conduse manual sînt mari, ridică problema randamentului termic al procesului de tăiere cu plasmă.

La acestea, H. Wolf a arătat că tensiunea de 250 V a fost acceptată de normele RFG pe baza unei construcţii cu izolaţie specială a generatoarelor de plasmă, că laboratoarele firmei LINDE nu s-au preocupat de randamentul termic al produsului de tăiere cu plasmă, cerînd delegatului român indicaţii despre lucrări româneşti publicate în acest domeniu.

Totodată a cerut lămuriri asupra modalităților de a intra în legătură cu instituțiile românești competente pentru a trata cumpărarea brevetului generatorului de plasmă. H. Wolf și-a exprimat dorința de a cunoaște mai îndeaproape realizările românești în domeniul sudurii și mai ales al plasmei. Bineînțeles că s-au dat d-lui H. Wolf lămuririle cerute.

2. Programul conferinței de la Ljubljana nu a cuprins vizite industriale. Cu toate acestea, unii specialiști au fost invitați să-și exprime dorința de a cunoaște institute de cercetări sau întreprinderi. Acad. Șt. Nădășan a vizitat următoarele institute de cercetări:

*a*) Institutul de sudură al R.S. Slovenia — Ljubljana.

*b*) Institutul de construcții metalice — Ljubljana.

*c*) Institutul de cercetări de materiale de construcții Ljubljana.

Institutul de sudură, după completarea în curs a clădirii sale va dispune de circa 4 500 m² suprafață. Este bine utilat și lucrează cu 100 persoane din care 30 cercetători. Este unul din cele 3 institute de sudură din R.S.F.J.

Institutul de construcții metalice are drept preocupare principală proiectarea construcțiilor metalice, inclusiv acele ce fac parte din instalații de ridicat și de transport. Are un laborator mecanic de circa 150 m².

Institutul de cercetări de materiale și construcții are 13 secții. S-a vizitat Secția de cercetări de metale. Potrivit orientării actuale, preocupările acestei secții sînt axate pe experimentarea subansamblelor și construcțiilor întregi. S-a experimentat de exemplu durabilitatea unei cabine de funicular pentru transportul persoanelor. Din materialul ilustrativ ce s-a înmînat, rezultă că lucrările secției au o mare utilitate pentru producție. Institutul lucrează cu circa 300 angajați din care 75 au pregătire universitară.

Toate institutele de cercetări din RSFJ lucrează pe bază de autofinanțare și sînt foarte bine utilate. Secția susamintită are numai utilaje din Elveția. De menționat este că institutele vizitate deservesc în principal numai întrerpinderile din RS Slovenia, republică cu circa 1,7 milioane de locuitori. Din discuțiile purtate a rezultat că numărul și capacitatea institutelor de cercetare în domeniul tehnic, global pe toate republicile RSFJ, depășesc în prezent nevoile producției.

3. Delegații străini au fost primiți de Secretarul general al Academiei slovene de știință și de Rectorul Universității din Ljubljana, primirile avînd un caracter protocolar.

Academiile din RSFJ nu au institute de cercetare proprii în domeniul tehnic, nici colective de cercetare pe lîngă catedrele facultăților tehnice. După o perioadă de experimentare de circa 5 ani, în care au existat institute politehnice în accepțiunea din țara noastră, s-a revenit la facultăți tehnice înglobate în universități. Interlocutorii noștrii au considerat această soluție dezavantajoasă, singura motivare adusă fiind aceea a cheltuielilor de regie.

In această situație, în domeniul tehnic, cercetări cu caracter fundamental se fac exclusiv în cadrul catedrelor universitare. Nici la Academie și nici în institutele de cercetări autogospodărite asemenea cercetări nu se pot face.

In specialitatea sudură nu există în prezent nici secții și nici catedre. Capitolele de sudură se tratează în cadrul disciplinelor de tehnologie. După informațiile primite, la Facultatea tehnică a Universității din Novi-Sad ar fi în curs de organizare o catedră de sudură.

4. Specialiștii străini și unii specialiști din RSFJ au fost invitați la o masă comună, o recepție la Primăria orașului și un spectacol de operă.

Cu ocazia ședinței de închidere a Conferinței, prof. P. Stular, directorul Institutului de sudură din Ljubljana a exprimat dorința specialiștilor sudori din RSFJ de a colabora cu specialiștii sudori din toate țările lumii, pentru realizarea unor progrese tehnice mai rapide, pentru o mai bună cunoaștere reciprocă. A arătat că în acest fel se aduce o contribuție la cauza păcii în lume.

Interesul pentru realizările și realitățile din R.S. România este în creștere vizibilă, fapt ilustrat de atenția de care s-au bucurat specialiștii români din partea tuturor participanților.

Gazdele, în frunte cu prof. P. Stular, au primit și înconjurat delegații români cu atenție, interes și deosebită prietenie.

ACAD. ȘT. NĂDĂȘAN

TR. SĂLĂGEAN

La Şcoala tehnică superioară de ingineri pentru industrie din Saint-Sébastien, circa 100 de specialişti în siderurgie fină spanioli şi francezi s-au reunit în zilele de 29...31 mai 1967 pentru a discuta temele de interes comun privind oţelurile aliate de construcţii.

Subiectele care au făcut obiectul unor discuţii şi a unor mese rotunde sînt: Transformările martensitice la oţeluri ordinare şi aliate — Fundamentul noilor norme spaniole pentru oţelurile de construcţie — Principiile fundamentale ale corelaţiei între compoziţia şi însuşirile oţelurilor de construcţie — Stadiul actual al cercetărilor privind austenita reziduală — Corelaţia între compoziţia şi însuşirile oţelurilor pentru cementare — Calculul proprietăţilor — Fenomene de precipitare şi de ordine, dizordine şi însuşirea oţelurilor şi aliajelor cu limită elastică înaltă — Normalizarea raţională a oţelurilor speciale de construcţie — Oţeluri pentru deformare la rece — Cilindri pentru laminare la rece — Oţeluri de construcţie cu tungsten — Oţeluri de construcţie pentru aplicarea criogenică — Piese de fricţiune nemagnetice pentru maşinile electrice rotitoare — Stadiul actual al normalizării oţelurilor de construcţie. — Noile norme franceze pentru oţeluri speciale de construcţie — Criteriu de alegere a sistemului de turnare continuă pentru oţelurile speciale — Oţeluri de construcţie cu rezistenţă mare destinate cromării — Normalizare şi caiete de sarcini, limite, dificultăţi, perspective — Aplicaţii, probleme recente, soluţii noi, performanţe mecanice mari privind mai ales rezistenţă, rezilienţa şi oboseala, în funcţie de condiţii extreme de temperatură, abraziune etc.

*COMITETUL SINDICAL*
*al producătorilor de oţeluri fine şi speciale*
*Serviciul relaţii publice: M. Maroy.*

## A. Peiter : EIGENSPANNUNGEN I. ART (Tensiuni remanente de ordinul I)

*Michael Triltsch Verlag, Düsseldorf, 1966, 200 de pagini.*

Studiul tensiunilor interne din piese care au fost supuse unor prelucrări sau tratamente, termice sau mecanice, este de o deosebită importanță pentru construcțiile metalice de orice fel, ca și pentru alte materiale (sticle folosite în aparate optice etc.). Tehnica cunoaște multe accidente — unele de mari proporții — cauzate de existența tensiunilor interne, cărora li s-au adăugat tensiunile de lucru. In învățămînt, problema tensiunilor interne, sub diferitele sale aspecte — calcul, măsurare, combatere — este încă insuficient tratată. La aceasta contribuie poate și lipsa materialului documentar suficient.

Autorul monografiei suscitate și-a propus să strîngă la un loc și să sistematizeze principalele cunoștințe cîștigate în acest domeniu pînă în prezent, răspîndite în diferite reviste de specialitate. Lucrarea este împărțită în 11 capitole, care tratează următoarele probleme :

1. *Principiile fundamentale și importanța tensiunilor interne.* Se arată modul de producere a tensiunilor macroscopice, prin răcire, ca urmare a tensiunilor termice și a modificărilor de structură. Se arată factorii care determină mărimea tensiunilor interne și căile de detensionare. Se scriu ecuațiile teoriei elasticității pentru tensiuni interne, se clasifică metodele de măsurare a tensiunilor interne și se precizează deosebirea între macro- și microtensiuni.

2. *Relațiile între tensiunile interne și deformațiile produse de ele.* Se precizează relațiile din teoria elasticității, care stau la baza metodelor de măsurare. Se stabilesc relațiile între tensiunile interne, deformații și constantele elastice ale materialului.

3. *Aparate și instalații pentru determinarea exprerimentală a tensiunilor interne.* Se descriu, la început, metodele de măsurare a deformațiilor, prin tensometre mecanice și aparate similare, apoi prin tensometrie electrică, dîndu-se detalii asupra aparatelor, montajelor și relațiilor de calcul utilizate.

4. *Măsurarea tensiunilor interne la piese cilindrce, prin metoda găuririi și a strunjirii exterioare.* Se stabilesc ecuațiile diferențiale pentru stările plane de eforturi unitare și de deformații, apoi se expune modul de desfășurare a experimentării și prelucrarea prin calcul a rezultatelor. Se arată modul de aplicare a metodei la piese subțiri, la discuri și inele. In continuare se arată modul de evidențiere a tensiunilor interne prin metoda spintecării.

5. *Metoda săgeții de încovoiere, aplicată profilelor laminate, tablelor subțiri, construcțiilor sudate și pieselor trase.* Se arată distribuția liniară și plană a tensiunilor interne în astfel de piese, metodele de eliberare a tensiunilor interne, de măsurare a deformațiilor produse în urma eliberării și modul de prelucrare a rezultatelor. Se descriu, de asemenea, tensiunile interne în piese galvanizate și în piese bimetalice.

6. *Metoda tăierii, aplicată la piese de formă oarecare.* Se descriu relațiile de calcul, diverse variante de executare a tăieturilor pentru eliberarea tensiunilor interne și modul de prelucrare a rezultatelor măsurătorilor. Se descrie epruveta în formă de grătar, pentru studiul tensiunilor interne în piese turnate

7. *Metoda găuririi,* aplicată la table și piese subțiri. Se descriu relațiile teoretice între tensiunile și deformațiile ce au loc în jurul găurilor, se stabilesc expresiile tensiunilor interne, apoi se arată metodica experimentală și cauzele erorilor posibile.

8. *Metode tehnologice pentru determinarea tensiunilor interne.* Se arată modul de determinare a tensiunilor interne cu ajutorul curbei caracteristice de întindere, apoi pe baza încercărilor de durată la întindere sau răsucire, pe baza încercărilor statice și dinamice de duritate, ca și cu ajutorul metodelor chimice de eroziune a suprafețelor.

9. *Metode fizice pentru măsurarea tensiunilor interne.* Se prezintă, la început, metoda roentgenografică de măsurare a tensiunilor interne, arătînd baza teoretică și modul de experimentare. Se descriu apoi metodele magnetice, metoda lacurilor casante, metoda fotoelastică, metoda acustică, metoda ultraacustică, metoda calorimetrică și metoda cîmpului magnetic.

10. *Calculul tensiunilor interne.* Se descrie modul de calcul al tensiunilor remanente, ca urmare a deformațiilor elasto-plastice, produse în diferite feluri de piese, la diferite solicitări. Se descrie de asemenea modul de calcul al tensiunilor remanente de origină termică.

11. *Efectul tensiunilor interne.* Se arată efectul tensiunilor interne asupra caracteristicelor mecanice ale materialelor. Se descriu apoi deformațiile ce se produc în piese, ca urmare a variației tensiunilor interne, în urma prelucrărilor mecanice, tratamentelor termice superficiale, lipiturilor, sudurilor. Se face o pezentare a tensiunilor interne care se produc în materiale nemetalice (rășini sintetice, sticle) și a modului de detectare a lor. În sfîrșit, se prezintă metode de detensionare, ca și metode de producere voluntară a tensiunilor interne, acolo unde ele au efect favorabil.

Toate capitolele cărții sînt însoțite de ample referințe bibliografice.

Lucrarea este deosebit de utilă inginerilor proiectanți și tehnologi, care în practica lor se lovesc de consecințele neplăcute ale existenței tensiunilor interne.

GH. BUZDUGAN

## Alfred Buch : ZAGADNIENIA WYTRZYMALOSCI ZMECZENIOWEJ (Problemele rezistenței la oboseală)

*Warszawa, Panstwowe wydawnictwo naukowe, 1964, 436 de pagini*

Literatura de specialitate în domeniul oboselii metalelor s-a îmbogățit prin ampla monografie publicată de A. Buch, în limba poloneză, sub titlul de mai sus. Lucrarea, conținînd 436 de pagini, este împărțită în patru părți, resepctiv în 21 capitole, al căror cuprins este următorul :

*Partea I* — probleme generale — tratează despre :

1. Ciclurile de solicitări variabile, rezistența la oboseală, curba lui Wöhler, diagramele rezistențelor la oboseală.
2. Ruptura prin oboseală.
3. Relații între rezistența la oboseală și caracteristicile mecanice statice.
4. Rezistența la oboseală de durată limitată.
5. Explicațiile fizice ale ruperii prin oboseală.
6. Mecanismul propagării fisurii de oboseală.

*Partea a II-a* — probleme constructive și de exploatare — studiază :

7. Efectul concentratorilor de eforturi unitare.
8. Factorul dimensional.
9. Efectul stării de solicitare compusă la oboseală.
10. Efectul coroziunii.
11. Efectul temperaturii

*Partea a III-a* — probleme tehnologice — studiază:

12. Efectul prelucrării mecanice a piesei.
13. Efectul tratamentelor termice.
14. Efectul tratamentelor termo-chimice,
15. Efectul tratamentelor mecanice superficiale.
16. Efectul structurii materialului.

*Partea a IV-a* — destinată prezentării rezistenței la oboseală a diferitelor metale și calculului la oboseală, cuprinde următoarele capitole:

17. Rezistența la oboseală a oțelurilor.
18. Rezistența la oboseală a fontelor.
19. Rezistența la oboseală a metalelor și aliajelor neferoase.
20. Rezistența la oboseală a sudurilor.
21. Calculul coeficientului de siguranță la oboseală.

Lucrarea se încheie printr-un mare număr de grafice și tabele anexe referitoare la rezistența la oboseală a diferitelor materiale din construcția de mașini, mărimile coeficientului de concentrare, ale factorului dimensional și efectul diferitelor tratamente superficiale asupra rezistenței la oboseală.

Lucrarea este bazată pe o amplă documentare — citată la fiecare capitol — ca și pe îndelungata experiență de cercetător a autorului.

GH. BUZDUGAN

## A. I. Veinik: RASCIOT STRUCTURĪ CIUGUNA (Calculul structurii fontei)

*Ed. Școala superioară, Minsk, 1964*

În fața tehnologilor apare adeseori problema obținerii unor piese turnate din fontă cu proprietăți bine determinate. Broșura lui A. I. Veinik tratează această problemă prin prisma alegerii corespunzătoare a parametrilor tehnologici la turnare. Lucrarea însumează 32 pagini, 10 figuri și 2 tabele și este împărțită în 4 capitole:

*Capitolul 1. Diagrama structurală a fontelor.* În acest capitol se prezintă o diagramă cu ajutorul căreia se pot determina proprietățile fontei turnate în funcție de viteza de solidificare, la diverse conținuturi de carbon și siliciu. Influența altor adaosuri se ia în considerare cu ajutorul formulei $(C+Si)\% = C\% + Si\% + 0{,}05(P\% - 0{,}2) - (Mn\% - 1{,}7S\% - 0{,}464)$.

*Capitolul 2. Calculul structurii după tehnologia prescrisă.* Se prezintă modul de stabilire a raportului dintre componentele structurale (grafit, ferită, perlită) cu ajutorul diagramei structurale, în funcție de compoziția chimică și parametrii tehnologici. Calculul vitezei de solidificare se rezolvă pentru cazul răcirii în formă nemetalică și în cochilă. În continuare se menționează un exemplu de calcul pentru o fontă slab aliată.

*Capitolul 3. Calculul parametrilor tehnologici după structura prescrisă.* De cele mai multe ori problema se pune ca plecînd de la proprietățile necesare fontei să se determine compoziția și condițiile tehnologice de realizare. Această situație este exemplificată pentru un caz concret.

*Capitolul 4. Condițiile termodinamice ale segregației și difuziei elementelor în fontă.* În procesul cristalizării un rol important îl are difuzia carbonului și a celorlalte elemente. În legătură cu aceasta în lucrare se tratează pe scurt teoria cuplurilor termodinamice, care permite aprecierea calitativă a proceselor de difuzie și se arată metodele prin care se evidențiază aceste procese.

Lucrarea menționează 14 titluri bibliografice.

## A. I. Veinik: LITIE V METALLICIESKIE FORMI (Turnarea în forme metalice)

Ed. Şcoala superioară, Minsk, 1964

Se ştie că micşorarea dimensiunilor părţilor din care se compune o cochilă conduce la micşorarea tensiunilor termice. Plecînd de la această idee s-a trecut la realizarea cochilelor din elemente tipizate, care permit realizarea unor configuraţii diverse.

Lucrarea este concepută în 4 capitole, care tratează despre:

*Capitolul 1. Cochile din elemente tipizate.* Se prezintă avantajele ce rezultă la realizarea unor asemenea cochile şi cîteva configuraţii posibile. Discuţia asupra armării elementelor şi a suprafeţei interioare a formei dă indicaţii practice asupra realizării cochilelor în această variantă. Se prezintă date asupra regimului termic la care pot fi supuse asemenea cochile.

*Capitolul 2 şi 3. Cochile speciale şi cochile din aluminiu.* Se menţionează construcţia unor cochile pentru turnarea arborilor cotiţi şi regimurile termice care pot fi aplicate în acest caz. De asemenea se prezintă avantajele realizării unor cochile din aluminiu cu răcire forţată şi suprafaţă interioară protejată. Se menţionează unele aplicaţii ca: turnarea elementelor de radiatoare, flanşe, cuzineţi, etc.

*Capitolul 4. Cochile pentru batiuri.* Cochile din elemente tipizate se folosesc şi la turnarea batiurilor grele. Problema care se pune în acest caz este micşorarea schimbului de căldură între piesa turnată şi cochilă cu scopul de a împiedica călirea fontei. În capitol se studiază cîmpul termic din cochilă şi modul de aplicare a regimurilor ciclice de turnare.

Lucrarea însumează 38 pagini, 24 figuri şi 8 titluri bibliografice.

## PROBLEMI TEPLOOBMENA PRI LITIE (Problema schimbului de căldură la turnare) Monografie

Ed. Institutului politehnic bielorus, Minsk, 1960

Cartea este o monografie care cuprinde cercetările făcute la Institutul politehnic din Minsk asupra problemelor teoretice şi practice ale turnării. Rezultatele obţinute au fost comunicate la a XVI-a sesiune ştiinţifică a acestui institut, care a avut loc la Minsk în aprilie-mai 1960. Monografia a fost redactată sub coordonarea prof. A. I. Veinik şi cuprinde 4 capitole:

*Capitolul 1. Cercetarea procesului de răcire a pieselor turnate.* Se prezintă teoria şi calculul procesului de cristalizare a pieselor turnate şi influenţa diferiţilor factori care intervin (grosimea cochilei, elementele piesei turnate, etc.). Se cercetează procesul de răcire la piesele din fontă turnate în cochile de aluminiu, arătîndu-se instalaţia experimentală folosită în acest scop. Se tratează problema măririi productivităţii operaţiei de turnare prin aplicarea filtrării aerului prin formă, la răcirea piesei turnate.

*Capitolul 2. Studiul proprietăţilor termofizice a formelor şi pieselor turnate.* Se prezintă cercetările experimentale privind proprietăţile termofizice a unor aliaje în intervalul de cristalizare şi o metodă de determinare a acestor proprietăţi la nisipurile pentru formare.

*Capitolul 3. Cercetarea fenomenelor de contracţie la piese turnate.* Studiile făcute se referă la mecanismul de apariţie a defectelor în urma contracţiei pieselor turnate. Se arată o metodă de calcul a adaosului de turnare la piese fasonate şi o metodă aproximativă de calcul a contracţiei metalului la cristalizare.

*Capitolul 4. Probleme speciale ale schimbului de căldură.* În acest capitol se tratează următoarele probleme: aplicarea elementelor tipizate la cochile, cercetări asupra schimbului de căldură la temperatură înaltă în corpuri poroase, schimbul de căldură prin convecţie în vacuum.

Cartea însumează 230 pagini, peste 200 figuri şi tabele şi peste 200 titluri bibliografice. Se adresează cercetătorilor şi inginerilor din institutele şi uzinele metalurgice.

M. HRELESCU

C. VINCENZ

## CONTRIBUȚII LA TEORIA FLUIDIZĂRII

Plecîndu-se de la relațiile de plutire a unei granule, într-un curent de fluid, se stabilesc relații noi, valabile pentru plutirea granulelor în concentrație mare, respectiv în stratul fluidizat.

Aceste relații permit determinarea valorii vitezelor și a pierderilor de presiune în strat, valori care conduc la constatarea apariției a două puncte critice și care reprezintă criteriul de stabilire a diverselor forme sub care se prezintă starea de fluidizare.

Cunoașterea stării de fluidizare și a presiunilor funcție de viteza curentului de fluid permite trasarea unei diagrame de fluidizare, care arată corelația dintre parametrii principali ce intervin la fluidizare.

*Studii și cercetări de metalurgie, Tom 12, Nr. 2/1967.*

B. NAGY

## STUDIUL PROCESULUI DE ZEȚAJ PRIN METODA ANALIZEI DIMENSIONALE

In cadrul articolului se prezintă aplicarea analizei dimensionale în studiul capacității specifice de trecere a produselor grele separate din cărbunele brut clasa 0—10 mm, în cadrul procesului de concentrare prin zețaj prevăzut cu pat artificial.

Analiza funcțională ce exprimă variația capacității specifice în funcție de coeficienții care caracterizează proprietățile patului artificial și a regimului hidraulic de funcționare a mașinilor de zețaj a permis să se stabilească parametrii optimi privind greutatea specifică, dimensiunea, forma granulelor, înălțimea patului artificial, precum și amplitudinea și numărul pulsațiilor apei pe minut. Pentru aprecierea funcționării mașinilor de zețaj prevăzute cu pat artificial se introduce un criteriu nou (Froude modificat), în funcție de care se face categorisirea zețajului de înaltă sau joasă frecvență.

In concluzie sînt relevate forțele determinante ce intervin în cadrul procesului de concentrare prin zețaj a materialului mărunt.

*Studii și cercetări de metalurgie, Tom 12, nr. 2/1967.*

P. ILIE

## ACȚIUNEA OLEATULUI DE SODIU ASUPRA UNOR MINERALE ALE METALELOR RARE

Studiul acțiunii oleatului de sodiu la diferite valori a arătat că el este colector eficace pentru piroclor și zircon la pH=7—11.

Determinările radiometrice au arătat că la consumuri ce asigură flotația se fixează pe minerale mai multe strate de adsorbție monomoleculară a oleatului de sodiu. La diferite valori pH flotația nu este direct proporțională cu cantitatea de reactiv colector fixată ci depinde de acțiunea reactivilor regulatori cu suprafața mineralelor. Spectrele în infraroșu au arătat că acționînd cu centrii activi de reacție ai mineralelor oleatul de sodiu se adsoarbe sub formă de ioni și molecule, iar în condiții favorabile chemosorbția este însoțită de reacția chimică eterogenă ce conduce la formarea de oleați ai metalelor.

*Studii și cercetări de metalurgie, Tom 12, Nr. 2/1967.*

E. KAUSEL

## TOPIREA AUTOGENĂ A CONCENTRATELOR DE CUPRU

Se explică pe scurt principiile de topire autogenă a concentratelor de cupru și se face o descriere a procesului. Se descrie topirea Outokumpu Oy, se analizează în general bilanțul material și termic rezultat aplicînd procesul unui amestec de pirită, calcopirită-gangă. Odată obținute ecuațiile, care reprezintă condițiile de topire în funcție de compoziția încărcăturii, se face o reprezentare grafică pe o diagramă ternară, determinînd zonele de topire autogenă pentru diferitele minereuri ale șarjei rezultate.

*Studii și cercetări de metalurgie, Tom 12, nr. 2/1967.*

I. BASCOVEANU

## DETERMINAREA SUPRAFEȚEI SPECIFICE A PULBERILOR ȘI A PERMEABILITĂȚII LA AER A CORPURILOR AGLOMERATE ȘI SINTERIZATE

Această lucrare tratează despre metodele de măsurare a suprafeței specifice a pulberilor materiale. Metoda bazată pe permeabilitatea la fluide a unui strat de pulbere tasată este tratată mai pe larg, fiind utilizată de autor în lucrări curente de laborator, atît pentru măsurarea suprafeței pulberilor cît și pentru determinarea permeabilității la fluide a corpurilor obținute din pulberi aglomerate și sinterizate.

Sînt făcute considerații asupra accesibilității diferitelor metode și asupra preciziei rezultatelor obținute prin aplicarea lor. Sînt înseriate tabele cu rezultate.

*Studii și cercetări de metalurgie, Tom 12, nr. 2/1967.*

SANDA OPREA

## CONSIDERAȚII PRIVIND PROCESELE FIZICO-CHIMICE LA ÎNCĂLZIREA OȚELURILOR ÎN ATMOSFERĂ CONTROLATĂ

În cadrul lucrării se studiază procesele fizico-chimice și echilibrul termodinamic al principalelor reacții chimice care au loc în timpul încălzirii între materialul metalic și atmosfera endotermă $CO$-$H_2$-$H_2O$. Se arată că potențialul de carbon al atmosferei de gaz endoterm pentru un anumit oțel și o temperatură dată este condiționat de schimbarea raportului dintre componenții de carburare ($CO$, $CH_4$ etc.) și cei de decarburare ($CO_2$, $H_2$, $H_2O$) din compoziția atmosferei.

Încercările experimentale efectuate au permis să se stabilească valorile optime ale punctului de rouă pentru oțelurile cu conținut mediu și ridicat de carbon și pentru oțelurile de construcție. Respectarea valorilor stabilite pentru punctul de rouă în condițiile industriale, contribuie la preîntîmpinarea decarburării oțelurilor de construcție în timpul tratamentelor termice.

Studii și cercetări de metalurgie, Tom 12, Nr. 2/1967.

ACAD. ȘT. NĂDĂȘAN, L. BOLEANȚU, M. FISCHER

## INFLUENȚA FACTORILOR GEOMETRICI A CONCENTRATORILOR DE DESCĂRCARE ASUPRA REZISTENȚEI LA RUPERE STATICĂ A UNOR OȚELURI

În lucrare se analizează influența factorilor geometrici ai concentratorilor de bază și de descărcare asupra rezistenței la rupere a unor epruvete din OL 38, OLC 35 și 41 MoC 11 și asupra stărilor de tensiune la baza concentratorilor multipli, la epruvete de araldit B, examinate în lumină polarizată, solicitate sub limita de elasticitate la întindere monoaxială.

Din concluziile lucrării se deduce că efectul global al concentratorilor multipli se manifestă prin suprapunerea efectului pozitiv al stării triaxiale de tensiune și efectul negativ al vîrfului de tensiune la baza crestăturii.

Ca rezultat practic al lucrării este indicația de utilizare corespunzătoare a concentratorilor de descărcare, prevăzuți pe piese de rezistență, construite din oțelurile studiate sau similare lor.

Studii și cercetări de metalurgie, Tom. 12, Nr. 2/1967.

N. SASSU

## TRATAMENTUL TERMOMECANIC AL OȚELURILOR DE CONSTRUCȚIE

În lucrare s-a determinat influența gradului de deformare, a numărului de treceri la laminare și a temperaturii de revenire asupra proprietăților mecanice, microstructurii și structurii cristaline fine ale oțelurilor de construcție supuse TTMTS.

S-a stabilit că prin creșterea gradului de deformare și a numărului de treceri la laminare, caracteristicile de rezistență cresc în mod considerabil prin obținerea unei structuri martensitice cu un înalt grad de dispersie. Studiul structurii cristaline fine a arătat că în acest caz valoarea domeniului coerent de dispersie (blocurile) se micșorează treptat, iar densitatea defectelor rețelei cristaline (dislocații) crește.

Rezultatele cercetării au arătat că TTMTS micșorează influența temperaturii de revenire asupra scăderii caracteristicilor de rezistență.

Cercetările au stabilit de asemenea „reversibilitatea" TTMTS care deschide mari perspective aplicării în producție a acestei noi metode de tratament.

Studii și cercetări de metalurgie, Tom 12, Nr. 2/1967.

A. CONSTANTINESCU, B. ROTENSTEIN
și L. STAICU

## MODIFICĂRI STRUCTURALE ÎN OȚELURILE TERMOSTABILE DE TIP 1 Cr — ½ Mo și 2¼ Cr — 1 Mo

Factorul structură joacă un rol decisiv în procesul dezvoltării fluajului; din această cauză numeroase cercetări se referă la studierea modificărilor de structură produse în timpul fluajului.

Se prezintă rezultatele cercetării pe cale röntgenografică a modificărilor de structură în cazul a două oțeluri termostabile de tip 1 Cr. — ½ Mo și 2¼ Cr. — 1 Mo. Acestea sînt completate cu analize metalografice, optice și electronice.

Pe baza rezultatelor obținute se fac considerații teoretice asupra modificărilor produse, trăgîndu-se concluzii care contribuie la completarea datelor referitoare la comportarea în condiții de fluaj a celor două oțeluri studiate.

Studii și cercetări de metalurgie, Tom. 12, Nr. 2/1967.

H. SELMEREANU, TR. SĂLĂGEAN

## FORMAREA COMPONENȚILOR FRAGILI LA SUDAREA OȚELURILOR CU CARBON

In lucrare se studiază comportarea la sudare a unor oțeluri cu carbon, avînd conținutul în carbon cuprins între 0,12 și 0,64%. Cercetarea se face cu două feluri de probe: fără sudură și cu sudură. Urmărind prin aceste probe în mod special fragilizarea oțelurilor în zona influențată termic (*ZIT*) se observă că rezultatele unora din probe conduc la concluzii foarte apropiate. Din acest motiv, se creează posibilitatea reducerii numărului încercărilor. Bazați pe cercetarea făcută, autorii propun o metodologie de determinare a comportării la sudare a unui nou tip de oțel cu ajutorul a 6 încercări. In cazul în care se urmărește calitatea unui oțel, a cărui comportare în fază de laborator a fost studiată, autorii consideră că determinarea durității maxime sub cordon, a tendinței spre îmbătrînire și a comportării la temperaturi scăzute sînt suficiente.

Toate acestea se referă numai la oțelurile nealiate cu carbon.

Studii și cercetări de metalurgie, Tom 12, nr. 2/1967.

A. MILLION, N. CONSTANTINESCU

## DESPRE REZISTENȚA ÎMBINĂRILOR SUDATE CU DEFECTE

In lucrare se analizează problema aprecierii influenței mărimii și repartiției defectelor asupra însușirilor mecanice ale îmbinărilor sudate și se propune o formulă care exprimă prin mijloace matematice legătura dintre imaginea radiografică și scăderea rezistenței sudurii. Se subliniază necesitatea efectuării unor încercări sistematice pentru stabilirea curbelor $\alpha(a/A)$, care să permită precizarea legăturii dintre rezistența reală a îmbinării și imaginea radiografică a acesteia. Se arată că defectele pot fi împărțite în grupe de defecte care au influență similară asupra proprietăților mecanice.

Studii și cercetări de metalurgie, Tom 12, Nr. 2/1967.

Dr. acad. J. ČABELKA, C. MILLION

## SENSIBILITATEA LA RUPERE ÎNCETINITĂ UN NOU CRITERIU DE SUDABILITATE A OȚELURILOR DE ÎNALTĂ REZISTENȚĂ

In baza particularităților formelor de manifestare ale ruperilor încetinite în îmbinări sudate, se determină rolul hidrogenului asupra acestor ruperi.

In acest scop se stabilesc caracteristicile ruperii încetinite — $\sigma=f(t)$ — în diferite condiții apropiate de suduri reale. Valoarea tensiunii limită inferioară ($\sigma$) se ia drept criteriu de bază pentru aprecierea sudabilității oțelurilor de înaltă rezistență. Influența hidrogenului asupra sudabilității oțelului se exprimă prin scăderea procentuală a acestei tensiuni limită, la o concentrație convențională de hidrogen introdus prin sudare.

Prin interpretarea rezultatelor obținute se fac propuneri în vederea îmbunătățirii sudabilității oțelurilor de înaltă rezistență

Studii și cercetări de metalurgie, Tom 12, Nr. 2/1967.

M. GR. NĂSTASE

## STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR IN DOMENIUL ÎNCERCĂRILOR NEDISTRUCTIVE CU RADIAȚII PENETRANTE. II..

In această lucrare se prezintă stadiul actual al cercetărilor de defectoscopie nedistructivă cu radiații penetrante (raze x și raze gama) în țara noastră, precum și unele aspecte privind activitatea de cercetare în acest domeniu și valorificarea rezultatelor în producție.

In finalul lucrării sînt arătate avantajele și dezavantajele metodelor cu radiații penetrante, domeniile lor de utilizare, concludența încercărilor nedistructive, necesitatea cunoașterii comparative și a utilizării combinate a diverselor metode de încercări, dispersia și evaluarea rezultatelor, unele concluzii și bibliografia de specialitate.

Studii și cercetări de metalurgie, Tom 12, Nr. 1/1967.

Revista „Studii și cercetări de metalurgie" publică rezultate originale ale cercetărilor din domeniul larg al metalurgiei, sub formă de articole, comunicări sau note. Revista mai cuprinde și rubricile: referate, discuții, recenzii, informații și altele. Temele abordate constituie cele mai recente realizări științifice și tehnice.

## RECOMANDARI PENTRU AUTORI

1. Structura lucrării:

a) *Introducerea* va situa lucrarea pe fondul cunoștințelor actuale, va desemna obiectivele și indica metodele utilizate;

b) *Tratarea* (despărțită pe subcapitole, numerotată după clasificarea zecimală), va preciza premizele, ipotezele, simplificările adoptate și va discuta rezultatele, erorile, posibilitățile și comoditatea aplicării deducerilor matematice;

c) *Concluziile* vor sintetiza rezultatele obținute, limita lor de valabilitate și aplicațiile posibile;

d) *Bibliografia* după standardele în vigoare;

2. Forma lucrării:

a) Lucrările se predau în 2 exemplare dactilografiate la 2 rînduri (2 000 semne pe pagină), inclusiv exemplarul original fără corecturi, intervenții, pe hîrtie velină;

b) Figurile pe calc, un exemplar;

c) La începutul lucrării se trece clasificarea zecimală internațională;

d) Volumul lucrării circa 15 pagini.

Se primesc numai lucrări originale.

*

Manuscrisele se trimit Comitetului de redacție: Timișoara, B-dul Mihai Viteazul 24.

1968

ST. CERC. METALURG. TOM. 12, Nr. 2, P. 241—485, BUCUREȘTI — 1967

I.P.B. — 281/1967

43 834

**Lei 18.**